Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen menschlicher Zähne durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation.

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ulrich Stein
aus Stendal

1963

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. E. Harndt) der Freien Universität Berlin

---

Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen menschlicher Zähne durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

vorgelegt von

Ulrich Stein

aus Stendal

Dekan: Professor Dr. med. Bernhard Schmidt

Referent: Priv.-Doz. Dr. K. Eichner

Korreferent: Professor Dr. Dr. E. Harndt

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 7. Oktober 1963

I. Einleitung

Nach der Veröffentlichung der Arbeiten von Raubar, G. (28) 'Die Wirkung der Reibungswärme auf das Dentin' und Kimmerle, G. (11) 'Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors' war es erforderlich geworden, kritische Nachuntersuchungen beider Arbeiten auf breiterer Basis anzustellen, da einige Ergebnisse mit den bisherigen klinischen Beobachtungen nicht in Einklang standen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Dissertation, die Ergebnisse der beiden oben erwähnten Veröffentlichungen zu überprüfen. Außerdem sollte das bearbeitete Dentin nicht nur histologisch untersucht, sondern auch in die Härtemessungen mit einbezogen sowie die gefundenen Werte mit denen des Schmelzes verglichen werden.

An Hand dieser Versuche ergibt sich die Möglichkeit, den von Eichner (nach persönlichen Mitteilungen) vermuteten ursächlichen Zusammenhang zwischen beiden Arbeiten, nämlich den Härteabfall des Dentins (Kimmerle: Schmelzhärteminderung durch mechanische Insulte) nach Einwirkung von Reibungswärme und Depolymerisation der Zahnhartsubstanz (Raubar), aufzufinden und zu bestätigen.

I. Einleitung

Nach der Veröffentlichung der Arbeiten von Raubber, G. (28) 'Die Wirkung der Reibungswärme auf das Dentin' und Kimmerle, G. (11) 'Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors' war es erforderlich geworden, kritische Nachuntersuchungen beider Arbeiten auf breiterer Basis anzustellen, da einige Ergebnisse mit den bisherigen klinischen Beobachtungen nicht in Einklang standen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Dissertation, die Ergebnisse der beiden oben erwähnten Veröffentlichungen zu überprüfen. Außerdem sollte das bearbeitete Dentin nicht nur histologisch untersucht, sondern auch in die Härtemessungen mit einbezogen sowie die gefundenen Werte mit denen des Schmelzes verglichen werden.

An Hand dieser Versuche ergibt sich die Möglichkeit, den von Eichner (nach persönlichen Mitteilungen) vermuteten ursächlichen Zusammenhang zwischen beiden Arbeiten, nämlich den Härteabfall des Dentins (Kimmerle: Schmelzhärteminderung durch mechanische Insulte) nach Einwirkung von Reibungswärme und Depolymerisation der Zahnhartsubstanz (Raubber), aufzufinden und zu bestätigen.

II. Literaturübersicht

Die enorme Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeiten der Bohr- und Schleifwerkzeuge zur Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen hat zwar viele Unzulänglichkeiten der konventionellen Geräte beseitigt, aber neben zahlreichen technischen Problemen auch Fragen biologischer Art aufgeworfen, die bei der Verwendung entsprechender Apparate berücksichtigt werden müssen. Eine der wesentlichsten Fragen ist die Auswirkung der gesteigerten Wärmeentwicklung, zu der Hudson und Sweeney (10), Klos und Rottke (12), Maeglin (18), Peyton (25), Lisanti und Zander (17) und andere Stellung nahmen. Die dadurch entstehende Schädigung betrifft vor allem die Zahn-Pulpa. Wahrscheinlich war Vogelsang (35) der erste (1921), der durch histologische Untersuchungen eine Schädigung der Pulpa nachgewiesen hat, die als Folge zu starker Wärmeentwicklung im Dentin aufzufassen ist. Diese Schädigung kann durch langsames und vorsichtiges Präparieren oder durch geeignete Kühlmaßnahmen vermieden oder verringert werden, wie Maeglin (18) festgestellt hat. Die Kühlung während der Präparation wird als äußerst wichtig erachtet, um irreversible Schäden der Pulpa und der Zahnhartsubstanz zu vermeiden.

"Es ließ sich jedoch keine eindeutige Meinung darüber erzielen, welche Kühlmethode die zweckmäßigste ist." (Adolph (1)) Lisanti und Zander (17) befürworten einen Preßluftstrom, Peyton (26) bevorzugt die Wasserstrahlkühlung, und andere Autoren empfehlen den Wasserspray. Nach Eichner (5) kann auf Grund der Untersuchungen von Polman-Mooy (27), Fechner (6), Klos und Rottke (12), Hofmann (9), Stüben und Hoppe (33) gesagt werden, daß die Kühlung der Präparationsstelle mit Wasserstrahl oder -spray ausreichend gelingt.

Viele Autoren weisen auf die schweren Schäden hin, die nach Präparation mit hohen Geschwindigkeiten ohne Kühlanwendung im Pulpengewebe entstehen. Vom histologischen Standpunkt aus können zwei verschiedene Reaktionen der Pulpa zusammengefaßt werden:

1. Primäre Veränderungen als unmittelbare Folge des Präparationstraumas (z. B. Odontoblastenaspiration).

2. Sekundäre Veränderungen als mittelbare Antwort des Pulpengewebes auf die gesetzte Schädigung (alle Zeichen der entzündlichen Reaktion, degenerativer Prozesse und Nekrosen).

Die einschlägigen Arbeiten stammen von Langeland (15), Swerdloff und Stanley (34), Marsland und Shovelton (19), Mühlemann und Rateitschak (21), Maeglin (18), Weder (37), Kluczka (13), Hofmann (9).

Nach Weder (37), Maeglin (18) und Rauber (28) kann große Wärmeentwicklung beim höchsttourigen Präparieren schon in den Zahnhartgeweben festgestellt werden. "Das Funkenschlagen beim Bearbeiten des Schmelzes, der Geruch nach verbranntem Horn und Brandspuren im Dentin sind eindeutige klinische Beweise für das Auftreten hoher Temperaturen am Ort der Bohreinwirkung" (Maeglin (18)). Alle drei Autoren haben neben der histologischen Untersuchung des Pulpagewebes auch das bearbeitete Dentin histologisch untersucht, wobei Maeglin (18) gefunden hat:

1. Die ohne Kühlung bearbeitete Kavitätenwand zeigt eine dünne, verkohlte Schicht mit lunkerartigen Hohlräumen.

2. Die freigelegten Dentinkanälchen sind leer innerhalb des Bereichs der Verbrennungsspuren.

3. Diese Erscheinungen fallen bei feuchter Präparation weg.

Weder (37) stellte Odontoblastenkerne im Dentin der Mehrzahl aller getesteten Zähne fest. Rauber (28) konnte zeigen, daß sich bei Turbinenpräparation die Veränderungen des Zahnbeins mit zunehmender Kühlung verringern. Er behauptet von der Turbinenpräparation mit dreistrahligem Spray (!), sie hinterlasse keine Schädigung mehr. Weiterhin beobachtete er, daß Diamantschleifer im Gegensatz zu Stahlbohrern auch bei niedriger Umdrehungszahl Hitzeschäden im Dentin verursachen, und fordert, auch in diesem Falle mit Wasserstrahl-

kühlung zu arbeiten. Die festgestellten Schädigungen erklärt Raubber mit einer Depolymerisation der Zahnhartsubstanzen.

Ein weiterer Nachteil der rotierenden Instrumente im hohen und höchsten Drehzahlbereich ist der Einfluß auf die Gestaltung der Kavitätenwände und -ränder. Schon bei Benutzung normaler Drehzahlen wurde früher besonderes Augenmerk auf die Beschaffenheit der Kavitätenwände und des Kavitätenrandes gerichtet, Sachs (31). Um diese Wände und Ränder zu glätten, werden von Black (4), Rebel (29), Miller (20) und Hess (8) verschiedene Methoden angeführt.

Nach Einführung der hoch- und höchsttourigen Präparationstechnik haben sich einige Autoren mit der durch Präparationsinstrumente erzeugten Oberflächengestalt der Zahnhartsubstanz befaßt, Adolph (2), Fezer und Schray (7), Ontrup (23), Pantke (24), Street (32).

Adolph (2) fand schon bei makroskopischer Betrachtung, daß höchsttourig beschliffene Zahnhartsubstanzflächen mehr oder weniger große Rauhigkeiten aufweisen, und forderte ein niedertouriges, feuchtes Nacharbeiten.

Adolph (2), Fezer und Schray (7) erhielten bei Airotoranwendung mit Fissurenbohrer ohne Querhieb völlig glatte Bearbeitungsflächen im Schmelz und Dentin.

Ontrup (23) fordert nach hoch- und höchsttouriger Präparation das Glätten der Schmelzränder mit Karborundumsteinchen, Finierern und Sandpapierscheiben bei ca. 10.000 U/min.

Pantke und Street's (24, 32) Untersuchungen ergaben, daß sich die bei der Glättung von Schmelz- und Dentinoberflächen angewendeten Instrumente der Güte nach folgendermaßen einteilen lassen:

1. Papierscheiben
2. Finierer
3. Fissurenbohrer
4. Schmelzmesser
5. Karborundumsteinchen
6. Horicoscheiben
7. Diamantschleifer
8. Diamantscheiben

Die in jüngster Zeit (1962) mitgeteilten Beobachtungen von K i m m e r l e (11) zeigten aber, daß nach höchsttouriger Präparation nicht nur die große Rauhigkeitstiefe der Kavitätenwände und Schmelzränder, sondern auch ein Härteabfall des kavitätennahen Schmelzes zu verzeichnen ist. K i m m e r l e (11) wertet das als Ausdruck einer Gefügeauflockerung, hervorgerufen durch die hohe Umdrehungszahl der rotierenden Instrumente.

Der Härtefall im Schmelz beträgt nach Airotorpräparation 50 kg/mm^2, wenn im Abstand von 50 und 550 µ vom Kavitätenrand aus gemessen wurde, nach Präparation im konventionellen Drehzahlbereich dagegen nur 29 kg/mm^2. Die Tiefe der Auflockerung erreichte bei höchsttouriger Präparation 550 µ und bei den Vergleichkavitäten 350 µ.

Auf Grund dieser Feststellungen hält K i m m e r l e (11) es für unerläßlich, die Schmelzränder mit konventionellen Drehzahlen nachzuarbeiten, um die aufgelockerten Abschnitte durch die Nacharbeit zu entfernen oder auf ein Mindestmaß zu beschränken.

III. Eigene Versuche

A. Untersuchungsmaterial

Zur Verwendung kamen:

a) operativ entfernte Zähne, die noch nicht in die Mundhöhle durchgebrochen waren,

b) Zähne, die wegen parodontaler Erkrankung extrahiert wurden,

c) Zähne, die aus kieferorthopädischen Gründen entfernt wurden.

Die Herkunft des Zahnmaterials erklärt schon, daß kariesfreie Zähne ausgewählt wurden.

1.) Vorversuche
(zur Mikrohärteprüfung von Zahnhartsubstanz)

Die Härte von Schmelz und Dentin wurde an 20 frisch extrahierten menschlichen Zähnen geprüft.

2.) Hauptversuche

a) Versuchsanordnung
Bei dem Untersuchungsmaterial handelt es sich um 60 frisch extrahierte menschliche Zähne, die aus den oben angeführten Gründen entfernt werden mußten. Das gesäuberte Zahnmaterial wurde bis zur Verwendung in 5 %iger Formaldehydlösung aufbewahrt. Die Zähne wurden kurze Zeit nach der Extraktion auf der bukkalen bzw. labialen und auf der palatinalen bzw. lingualen Seite ähnlich einer nierenförmigen Zahnhalskavität präpariert. Dabei wurden folgende Geräte, Drehzahlen und Kühlmethoden angewendet:

1. Imperatorhandstück mit Winkelkopf
   a) 6.000 U/min
   b) 20.000 U/min
   (trocken, 1/2 Luft + 1/2 Wasserspray, Wasserstrahl)

2. Kerr-Übersetzungshandstück
   a) 40.000 U/min
   b) 80.000 U/min
   (trocken, 1/2 Luft + 1/2 Wasserspray, Wasserstrahl)

3. D & Z Übersetzungswinkelstück Rt- 150
   a) 80.000 U/min
   (trocken, 3 Spraydüsen)

4. Ka-Vo Borden Airotor
   a) altes Handstück 300.000 U/min
   b) neues Handstück 390.000 U/min
   (trocken, 1 Spraydüse, 2 Spraydüsen)

5. Siemens-Sirona-Turbine
   a) alter Winkelkopf 320.000 U/min
   b) neuer Winkelkopf 395.000 U/min
   (trocken, 1 Wasserstrahl, 2 Wasserstrahle)

Sämtliche Versuchspräparationen wurden jeweils mit

1. Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieb
2. D & Z Diamantschleifer Nr. 86

ausgeführt.

b) Herstellung der Versuchsobjekte

Nach der Präparation wurden die Zähne in der Mitte beider Kavitäten längs halbiert, so daß die Zahnhälften, von der Schnittfläche aus gesehen, deutlich die beiden kastenförmigen Kavitäten zeigten.

Dieser Arbeitsgang erfolgte mit einer niedertourigen Zahnschleifmaschine unter ständiger, starker Wasserberieselung.

b/1 Histologische Untersuchungen

Die eine Zahnhälfte bildete das Versuchsmaterial für den histologischen Teil der Arbeit, bei der die thermische Schädigung des kavitätennahen Dentins untersucht werden sollte.

Das fixierte und gewässerte Material wurde nach der gleichen, von R a u b e r (28) angewendeten Methode entkalkt.+)

+) An dieser Stelle sei Herrn Prof. Dr. E. Sauerwein, Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten, Bonn, vielmals gedankt, daß diese Arbeiten in seiner Abteilung durchgeführt werden konnten.

Die Zahnhälften wurden einzeln in Mullsäckchen eingebündelt und in einen mit 5 %iger Salpetersäure gefüllten Drucktopf eingehängt. Die Säckchen hängen unmittelbar unter der Flüssigkeitsoberfläche, damit der Kalk gut absinken kann. Das Gerät wird luftdicht verschlossen und auf 2 bis 2,2 atü aufgepumpt. Die Entkalkungsdauer bei diesem Verfahren beträgt für Frontzähne und Prämolaren maximal 20 bis 25 Stunden, für Molaren 30 bis 35 Stunden.

Da die Zähne des Untersuchungsmaterials in der Längsrichtung halbiert und die Pulpa vollkommen eröffnet waren, dauerte die vollständige Entkalkung, durch Röntgenkontrolle überwacht, nur etwa 10 bis 15 Stunden.

Diese - an der Universitätszahnklinik Bonn übliche - Zahnentkalkungsmethode nach Nelissen (22) wurde gewählt, damit die eigenen Ergebnisse mit den von Rauber (28) zu vergleichen waren.

Schon Forshufvud wandte erstmalig einen Überdruck von 3 bis 4 Atmosphären zur Entkalkung von Zahnhartsubstanzen an. Der Überdruck verhindert das Aufsteigen der sich beim Entkalkungsprozeß bildenden mikroskopisch kleinen Gasbläschen, die die organischen Anteile des Schmelzes zerreißen. Forshufvud gibt an, daß bei diesem Überdruck das Entkalkungsverfahren bedeutend langsamer verläuft als unter normalem atmosphärischen Luftdruck.

Nelissens (22) Versuche ergaben aber, daß der Entkalkungsvorgang bei Anwendung eines Überdruckes von 2 bis 3 Atmosphären nicht langsamer, sondern wesentlich schneller als bei gewöhnlichem Luftdruck verläuft. "Ich erkläre mir diese Tatsache so, daß einmal der Druck als Katalysator bei dem chemischen Vorgang der Entkalkung wirkt, andererseits ruft er eine bessere Diffusion der Säure in die Hartgewebe hervor, wodurch die Herauslösung der mineralischen Bestandteile aus der Grundsubstanz schneller vonstatten geht" (Nelissen, 22).

Der günstigste Überdruck liegt bei 2 atü. Schon die alleinige Anwesenheit des Überdruckes beschleunigt die Entkalkung sehr (Frontzähne

und Prämolaren ca. 35, Molaren ca. 55 Stunden). Eine konstante Temperatur von 37° C wird angewendet, um diesen Vorgang noch so weit wie möglich abzukürzen, da chemische Reaktionen in Wärme schneller ablaufen.

Durch Vereinigung beider Faktoren, Überdruck und Temperaturerhöhung, ist der Aufenthalt der zu entkalkenden Objekte in der Säure auf relativ kurze Zeit beschränkt.

Hierdurch wird eine Säureschädigung der Gewebe und die damit auch immer verbundene Beeinträchtigung der Färbbarkeit der Schnitte auf ein Minimum reduziert.

Es ist zweckmäßig, nach beendeter Entkalkung das Ventil des Drucktopfes ganz langsam zu öffnen, damit der Überdruck langsam und kontinuierlich entweicht, da es sonst durch die plötzliche Druckdifferenz zum Abreißen der Pulpa an der Praedentinzone kommen kann.

Die entkalkten Zähne wurden ca. 5 Stunden gewässert und anschließend mit dem Gefriermikrotom geschnitten. Bei diesem Verfahren erübrigt sich die Neutralisation, da mit der Antimon-Nadelelektrode und nach dem Chinhydronverfahren vorgenommene pH-Wert-Bestimmungen der gewässerten Schnitte Werte ergaben, die nur leicht im sauren Bereich lagen (pH-Wert 4,6 bis 4,7).

Die Färbung der histologischen Schnitte erfolgte mit Hämatoxylin-Eosin und nach Heidenhain mit Azan.

Das geschilderte Aufbereitungsverfahren nach N e l i s s e n (22) ist wesentlich weniger zeitraubend als die normale Zahnentkalkung und ermöglicht bereits nach 2 bis 3 Tagen eine mikroskopische Untersuchung.

b/2 Mikrohärtemessungen

Die für die Mikrohärtemessungen erforderlichen, fein polierten planen Prüfkörper wurden folgendermaßen hergestellt:
Die zweite Zahnhälfte wurde mit der Schliffläche nach unten auf eine Glasplatte in einen Messingzylinder von 12 mm Höhe gelegt und mit selbsthärtendem Kunststoff (Paladur) umgossen. Nach der Polymerisation des Kunststoffes erfolgte die Politur der Schliffläche

des Zahnes mit Bimsmehl und Schlemmkreide auf einer aufgerauhten Glasplatte und anschließend mit Filzschwabbelscheiben. Dieses Vorgehen beim Zurichten der Meßstelle ist erforderlich, weil die gewählte Belastung bei der Härteprüfung sehr klein ist und möglichst unter gleichen Bedingungen stattfinden muß.

Zur Anwendung kam wegen der geringen Meßabstände das Vickers-Verfahren. Es wurde von Smith und Sanderland um das Jahr 1925 in England entwickelt. Der von Vickers und Armstrong konstruierte Prüfapparat wird aber erst seit 1934 - 36 in der Industrie verwendet. Nach dem Vickers-Verfahren ist es auf Grund der Form des Prüfdiamanten möglich, an einer dünnen Schicht des Zahnschmelzes Eindrücke herzustellen, die so klein sind, daß sie nur diese Schicht berühren, andererseits aber groß genug sind, um eine genaue Ausmessung des Eindruckes zu gewährleisten.

Als Prüfkörper wird ein in Pyramidenform geschliffener Diamant von regelmäßig vierseitigem Bau mit einem Spitzenwinkel von 136 Grad benutzt. Krell (14) hatte bereits Härteprüfungen nach diesem Verfahren in Zahnhartsubstanzen gemacht und festgestellt:

"Die vierseitige Pyramidenform bringt mit sich, daß beim Vickers-Verfahren die Last so stark verringert werden kann (bei Eindrücken, die nur wenige μ groß sind, beispielsweise bei äußerst dünnen Schichten), daß hierbei immer noch ein Eindruck entsteht, der der Last proportional ist."

Die Vickerspyramide erzeugt einen quadratischen Eindruck, aus deren mittleren Länge der gut meßbaren Diagonalen die Eindrucksoberfläche zu berechnen ist. Die Vickershärte (HV) ist wie die Brinellhärte das Verhältnis der aufgewendeten Belastung P (in kg) zu der erzeugten Eindrucksoberfläche O (in mm^2), die wie folgt berechnet wird:

$$O = \frac{d^2}{2 \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1{,}8544}$$

Die Vickershärte ist:

$$HV = \frac{P}{O} = \frac{P \times 1{,}8544}{d^2}$$

Sie wird in kg/mm^2 angegeben.

Der Vickersdiamant wird senkrecht mit der Oberfläche des Prüfstückes in Berührung gebracht. Die Belastung ist dann auf ihrem Höchstwert etwa 15 sec stoß- und schwingungsfrei zu belassen.

"Die Entfernung der Mitte zweier benachbarter Eindrücke oder der Mitte eines Eindrucks vom Rand der Probe soll wegen der Verfestigung des umliegenden Werkstoffes bzw. der Ausbeulung mindestens das Doppelte der Diagonalen betragen," empfahl K r e l l (14) auf Grund seiner Untersuchungen. Als Belastung wurde aus praktischen Gründen 0,1 kg gewählt. Als Prüfgerät für Vickershärteprüfungen stand der Kleinlasthärteprüfer "DURIMET" (Leitz, Wetzlar) in der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem zur Verfügung.

Die Firma Leitz hat für das Durimet-Gerät zur Errechnung der Härtewerte Tabellen in der Art einer Logarithmentafel herausgegeben. Die Vickershärte kann aus ihnen in Abhängigkeit von der Länge der Eindrucksdiagonalen des Vickersdiamanten für die Belastung von 15 bis 500 g in den Grenzen von etwa 20 bis 1.300 Vickerseinheiten abgelesen werden.

3. Statistik (Fehlerberechnung und Symbole der Tabellen)

Das sich ergebende Untersuchungsmaterial kann nach E. W e b e r (36) als Stichprobe aus einer Grundgesamtheit gleicher Prüfungen aufgefaßt werden. Bei größer werdender Zahl der Einzelwerte nähert sich das arithmetische Mittel der Stichprobe ständig dem arithmetischen Mittelwert der Grundgesamtheit. Dabei kann die Standardabweichung des Mittelwertes die Grenzen angeben, innerhalb derer das arithmetische Mittel der Grundgesamtheit zu suchen wäre. Die Standardabweichung des Mittelwertes wird hier nicht angegeben, da es beim Umfang der Stichprobe (Einzelwerte 10) nicht sinnvoll ist, eine exakte Fehlerrechnung durchzuführen, denn die Theorie der Fehlerrechnung gilt streng genommen nur für eine große Anzahl von Einzelwerten (N gegen unendlich).
Das Unsicherheitsintervall wird hier wie folgt bestimmt:

$$s\,(x) = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x)^2}{N}}$$

Dieser Ausdruck gibt die Streuung des Einzelwertes um den Mittelwert an, die in der Theorie der Fehlerrechnung stets größer als die Standardabweichung ist, die aus den oben genannten Gründen nicht berechnet wurde.

Symbole zu den statistischen Tabellen:

N = Zahl der Einzelwerte, Umfang der Stichprobe

n = Freiheitsgrad (N-1)

x_i = Einzelwert (x_1, x_2, x_3, . . . usw.)

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert

s = Streuung des Einzelwertes um den Mittelwert

x = Differenz zwischen $\bar{x}$ und x_i

IV. Ergebnisse

1. Vorversuche

Im Rahmen von orientierenden Vorversuchen sind die Vickershärtewerte (HV) für Schmelz und Dentin unpräparierter menschlicher Zähne gemessen worden. In den Tabellen 1 und 2 sind jeweils 600 Messungen zusammengefaßt:

Tabelle 1: Härtewerte von Schmelz kariesfreier menschlicher Zähne

Fall Nr.	Zahn	N	Durchschn. Werte HV	s
1	+6	30	320,6	± 7,0
2	-7	30	331,9	± 10,5
3	-6	30	314,7	± 6,8
4	3+	30	324,1	± 6,1
5	8+	30	315,2	± 9,2
6	+7	30	339,1	± 7,7
7	6-	30	332,6	± 8,8
8	7+	30	325,9	± 5,7
9	+1	30	317,9	± 7,6
10	4-	30	324,7	± 6,7
11	-2	30	326,0	± 8,3
12	-4	30	317,8	± 7,9
13	-5	30	324,3	± 4,8
14	-7	30	318,5	± 7,2
15	-8	30	312,7	± 5,0
16	+7	30	328,0	± 6,1
17	8+	30	312,6	± 6,6
18	-8	30	309,2	± 5,0
19	+4	30	315,8	± 5,7
20	4+	30	323,1	± 6,0

Tabelle 2: Härtewerte von Dentin kariesfreier menschlicher Zähne

Fall Nr.	Zahn	N	Durchschn. Werte HV	s
1	+6	30	62,2	± 2,8
2	-7	30	63,9	± 1,3
3	-6	30	73,5	± 1,2
4	3+	30	71,2	± 2,4
5	8+	30	66,1	± 1,3
6	+7	30	51,9	± 2,9
7	6-	30	66,9	± 1,1
8	7+	30	68,9	± 1,9
9	+1	30	72,4	± 1,5
10	4-	30	65,7	± 0,9
11	-2	30	65,1	± 1,4
12	-4	30	69,6	± 0,9
13	-5	30	66,0	± 1,3
14	-7	30	67,6	± 1,2
15	-8	30	67,2	± 1,2
16	+7	30	67,2	± 1,1
17	8+	30	66,6	± 1,1
18	-8	30	66,8	± 0,9
19	+4	30	66,8	± 0,9
20	4+	30	65,9	± 1,1

Durchschnittliche Härtewerte:

für Schmelz bei 600 Messungen: HV = 321,7 kg/mm^2

für Dentin bei 600 Messungen: HV = 66,6 kg/mm^2

2.) Hauptversuche

a) Histologischer Teil

Die Schnitte zeigen nach Azanfärbung (Heidenhain) oder nach Färbung mit Hämatoxylin-Eosin (R o u l e t , 30) schon bei schwacher Vergrößerung (Lupe) eine kontrastierende Anfärbung des kavitätennahen Dentins. Die verschiedengefärbten Dentinpartien bei der Azanfärbung lassen sehr deutlich normales Dentin-blau, hitzegeschädigtes Dentin-orange erkennen, während die mit Hämatoxylin-Eosin behandelten Schnitte den typisch dunklen Saum der Kavitätenumrandung als Ausdruck der Schädigung aufweisen (Abb. A u. B). Die veränderte Dentinschicht ist durchschnittlich 35 bis 50 µ dick und läßt bei stärkerer Vergrößerung, besonders gut nach Azanfärbung, 2 Zonen erkennen:

1. die äußere, die gut angefärbt ist, aber strukturloses Dentin aufweist, und
2. die innere, die nur blaß angefärbt ist, die Odontoblastenfortsätze aber gut erkennen läßt, und die langsam in normales Dentin übergeht.

Nach R a u b e r (28) kommt es zu dieser Anfärbbarkeit des hitzegeschädigten Dentins

1. bei der H.-E.-Färbung durch eine pH-Verschiebung im Dentin zum sauren Bereich hin, die ein gewisses Selektionsvermögen dieser Farbstoffe über verschiedene pH-Stufen sichtbar gemacht hat;

2. bei der Azanfärbung nach Heidenhain durch eine Hitze-Depolymerisation der organischen Komplexe des Dentins.

Daß es sich tatsächlich bei der unterschiedlichen Anfärbbarkeit der Kavitätenumrandung im Dentin zum normalen Dentin um eine Reaktion nach thermischer Schädigung handelt, konnte nachgewiesen werden:
Zwei mit konventionellen Drehzahlen präparierte und anschließend mit der glühenden Kauternadel abgestrichene Kavitäten zeigten nach Entkalkung, Gefrierschnitt und Anwendung beider Färbmethoden die gleichen Farbeffekte wie Kavitäten nach höchsttouriger Präparation ohne Kühlung, nur in erheblich verstärktem Ausmaße.

Nach trockener Anwendung der Airotorpräparation (Abb. 29, 32, 35, 38) verursachen Hartmetall-Fissurenbohrer und Diamantschleifer eine veränderte Zone mit gleichen färberischen Besonderheiten in Dentin, nur daß beim Diamantschleifer die veränderte Zone größeren Ausmaßes an den

Seitenwänden der Kavität liegt und breiter ist als die den Kavitätenboden einnehmende, veränderte Zone nach Anwendung des Hartmetall-Fissurenbohrers. Mit Turbinen präparierte Kavitäten unter Sprayanwendung weisen eine wesentlich schmalere, veränderte Zone auf, die als mehr oder weniger feiner Saum die Kavität umrandet. Wenn nur mit einer Spraydüse (KaVo) (Abb. 30, 33) oder einem Wasserstrahl (Siemens-Turbine) (Abb. 36, 39) gekühlt wird, so ist die schmale Zone veränderten Dentins gut zu erkennen. Man kann außerdem breitere Bezirke veränderten Gewebes an der Schmelz-Dentin-Grenze und an den Ecken zwischen Boden und Seitenflächen der Kavität auffinden.

An der Schmelz-Dentin-Grenze ist das mit dem Vorhandensein eines größeren Anteils organischer Substanz, an den Kavitätenwinkeln mit ungenügender Menge Kühlflüssigkeit am Ort der Reibung zu erklären.

Nach Benutzung von zwei Spraydüsen (KaVo) (Abb. 31, 34) oder zwei Wasserstrahlen (Siemens-Turbine) (Abb. 37, 40) wird das veränderte Gebiet deutlich schmaler und ist verschiedentlich unterbrochen, aber an den oben erwähnten Prädilektionsstellen gut erkennbar.

Vorteile der Spray- oder Wasserstrahlkühlung beim Abtransport der entstehenden Reibungswärme sind nicht festzustellen.

Auch die Anwendung von 6.000 U/min, 20.000 U/min, 40.000 U/min und 80.000 U/min bei trockener und feuchter Arbeitsweise mit Hartmetallbohrer und Diamantschleifer riefen ähnliche Veränderungen wie die Turbinenpräparation hervor. Der Unterschied besteht nur darin, daß mit kleiner werdender Drehzahl und verstärkter Kühlung ein immer feiner werdender und häufiger unterbrochener Saum zu erkennen ist (S. Abb. 1-24).

Die Anwendung von 3 Spraydüsen, die uns das Übersetzungswinkelstück RT-150 von D & Z bei durchschnittlich 80.000 U/min erlaubt, ist die beste Kühlmethode, da in allen untersuchten Kavitäten nur selten Veränderungen festzustellen sind (Abb. 26, 28).

Kavitätenränder ohne jede Veränderungen konnten erst bei normal- und hochtouriger Präparation unter Wasserberieselung gefunden werden (Abb. A/1 u. B/1).

Die Benutzung von Diamantschleifern verursacht durchweg stärkere thermische Dentinschäden als Hartmetallbohrer, so daß auch bei niedrigen Tourenzahlen unter Wasserstrahl bearbeitet werden muß (Vergl. z. B. Abb. 1 und Abb. 4; Abb. 35 und Abb. 38). Die stärkere Hitzeschädigung des Dentins nach Anwendung von Diamantschleifern im Gegensatz zu Hartmetallbohrern ist nach F e c h n e r (6) folgendermaßen zu erklären: beim Fräsen greifen nur 6 oder 8 Bohrerschneiden n a c h - e i n a n d e r , beim Schleifen viele Diamantkristalle g l e i c h - z e i t i g das Bearbeitungsmaterial an und bewirken eine größere Reibungswärmebildung.

Von jedem präparierten Zahn wurde ein Teil der Schnitte mit Hämatoxylin-Eosin gefärbt, der andere Teil mit der Azanfärbung nach Heidenhain behandelt.

Die folgenden vier Fotos zeigen zum Vergleich jeweils annähernd situationsgleiche Kavitätenausschnitte, wobei die Abbildungen A und A/1 Schnitte, mit H.-E. gefärbt, und die Abbildungen B und B/1 Schnitte nach Azanfärbung zeigen.

Die Vergrößerung aller hier gezeigten Bilder beträgt:

Abbildungsmaßstab 64 : 1 und Nachvergrößerung 3-fach, demnach 192 mal.

Ich habe zur bildlichen Dokumentation der thermischen Dentinschäden nach sämtlichen Präparationsmethoden den mit H.-E. gefärbten Schnitten den Vorzug gegeben:

1. weil sie im Gegensatz zur Azanfärbung auch geringste thermisch geschädigte Dentinpartien anfärbten und
2. weil die fotomechanische Wiedergabe der farbigen (orange/blau) Dentinbezirke nach Azanfärbung in Schwarz-weiß-Bildern sehr schlecht ist.

Zusammenfassend ist dem Bildmaterial zu entnehmen:

1. Bei der trockenen Präparation mit 6.000 U/min sowohl mit Hartmetallbohrer als auch mit Diamantschleifer zeigen sich Hitzeschäden im Dentin von maximal 10 µ Tiefe, die sich bei Kühlmittelanwendung fast völlig verlieren.

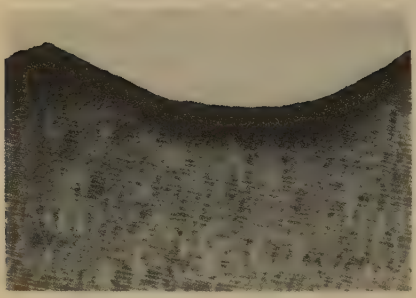
2. Bei trockener Präparation mit Hartmetallbohrer und Diamantschleifer mit 20.000 U/min ist die thermisch geschädigte Schicht ca. 15 µ stark und auch bei Wasserstrahlkühlung als teilweise unterbrochener Saum nachzuweisen.

3. Trockene Präparation mit Hartmetallbohrer oder Diamantschleifer bei 40.000 U/min ruft eine Hitzeschädigung im Dentin von ca. 20 µ Tiefe hervor, die auch bei Wasserstrahlkühlung noch als feiner, nicht unterbrochener Saum zu finden ist.

4. Hartmetallbohrer und Diamantschleifer setzen bei Präparation mit 80.000 U/min einen Hitzeschaden von ca. 25 µ Stärke, der auch unter Wasserstrahlkühlung, allerdings stark verringert, aufzuzeigen ist.

   Unter dreistrahliger Spraykühlung (D & Z Übersetzungswinkelstück RT-150) wird diese Schädigung fast völlig vermieden.

5. Trockene Turbinenanwendung (300.000 bis 395.000 U/min) mit Hartmetallbohrer und Diamantschleifer verursacht die Hitzeschädigung größten Ausmaßes (ca. 50 µ tief), die auch unter zweistrahligem Spray oder zwei Wasserstrahlen in verkleinerter Form nicht vermieden werden kann.



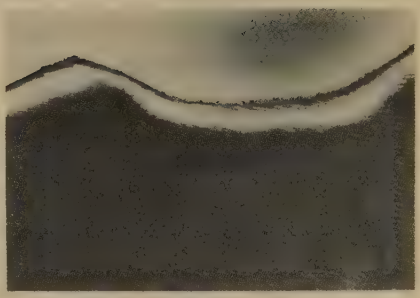


Abb. A (HE-Färbung)

Abb. B (Azan-Färbung)

Abb. A und B zeigen je einen Ausschnitt aus einer Kavitätenwand, die trocken mit Hartmetall-Fissurenbohrer im Ka-Vo-Borden-Airotor bei 390.000 U/min präpariert wurde: Starke Veränderungen im Dentin.

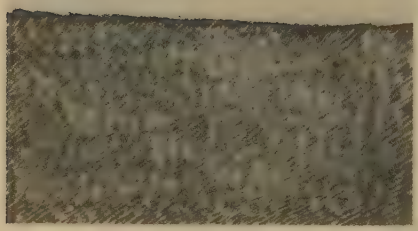


Abb. A/1 (He-Färbung)

Abb. B/1 (Azan-Färbung)

Abb. A/1 und B/1 zeigen je einen Ausschnitt aus einer Kavitätenwand, die unter Wasserberieselung mit Hartmetall-Fissurenbohrer im Imperatorhandstück bei 20.000 U/min präpariert wurde: Keine Veränderungen im Dentin.

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

6.000 U/min im Imperatorhandstück

Hartmetall-
Fissurenbohrer

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

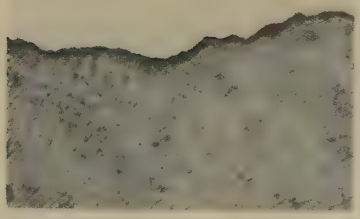


Abb. 1
trocken

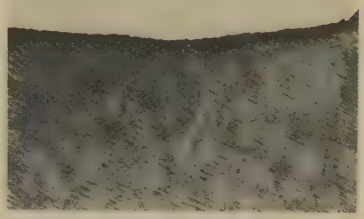


Abb. 4
trocken

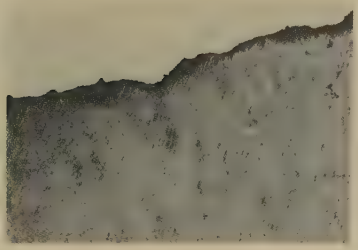


Abb. 2
1/2 Luft
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

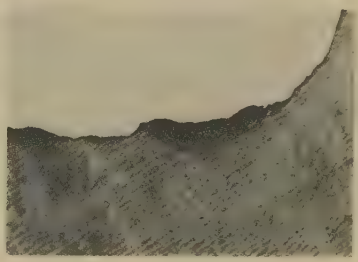


Abb. 5
1/2 Luft
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

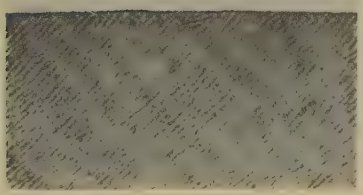


Abb. 3
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

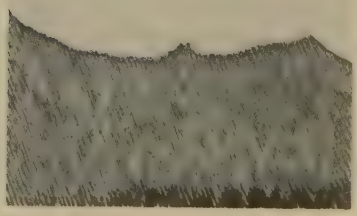


Abb. 6
Wasserstrahl
50 ccm/min)

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

20.000 U/min im Imperatorhandstück

Hartmetall-
Fissurenbohrer

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

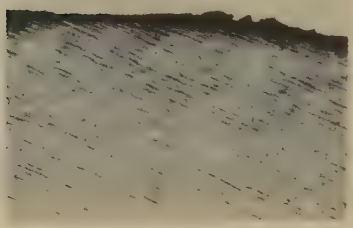


Abb. 7
trocken

Abb. 10
trocken

Abb. 8
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

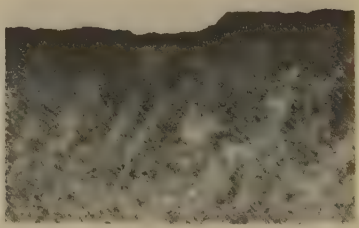


Abb. 11
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

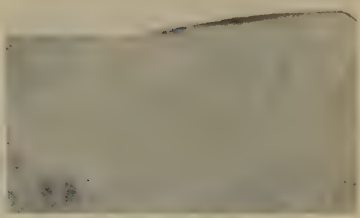


Abb. 9
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

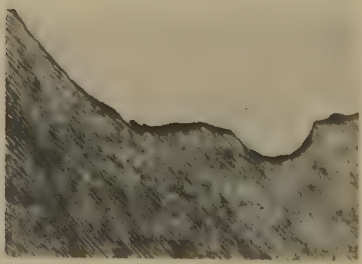


Abb. 12
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

40.000 U/min im Kerr-Übersetzungshandstück

Hartmetall-
Fissurenbohrer

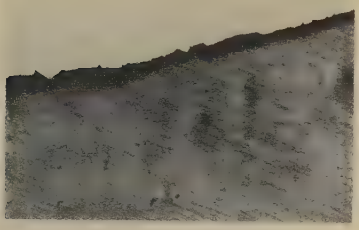


Abb. 13
trocken

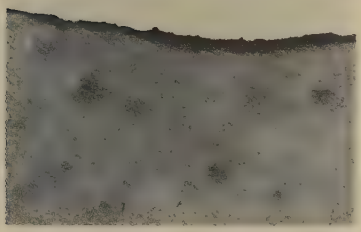


Abb. 14
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

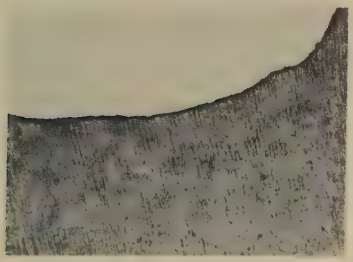


Abb. 15
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

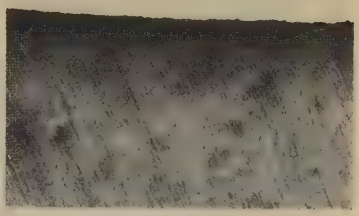


Abb. 16
trocken

Abb. 17
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

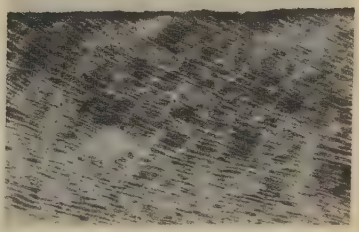


Abb. 18
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

Vergrößerung = 192xfür alle Abbildungen

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

80.000 U/min im Kerr-Übersetzungshandstück

Hartmetall-
Fissurenbohrer

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

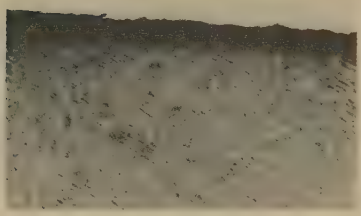


Abb. 19
trocken

Abb. 22
trocken

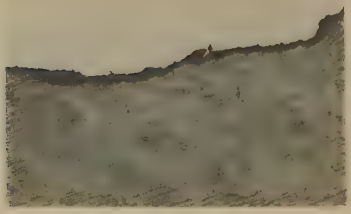


Abb. 20
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

Abb. 23
1/2 Luft und
1/2 Wasserspray
(15 ccm/min)

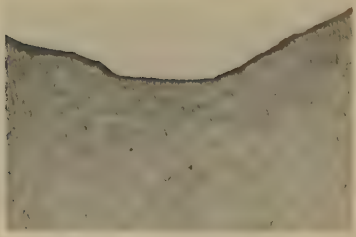


Abb. 21
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

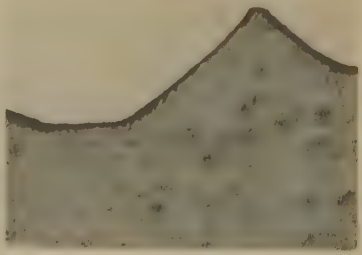


Abb. 24
Wasserstrahl
(50 ccm/min)

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

80.000 U/min im D & Z Übersetzungswinkelstück RT-150

Hartmetall-
Fissurenbohrer

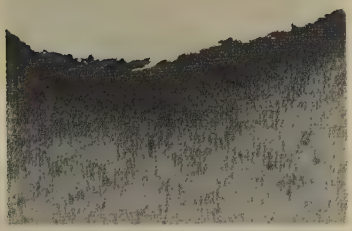


Abb. 25
trocken

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

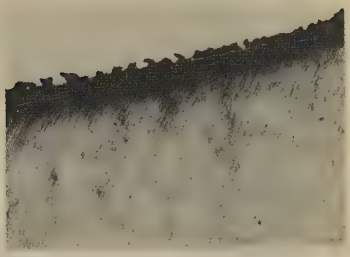


Abb. 27
trocken

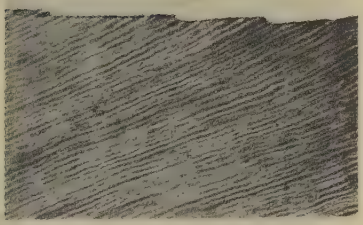


Abb. 26
dreistrahliger Spray

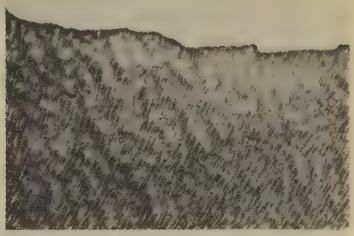


Abb. 28
dreistrahliger Spray

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen.

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

390.000 U/min im Ka-Vo Borden-Airotor

Hartmetall-
Fissurenbohrer

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

Abb. 29
trocken

Abb. 32
trocken

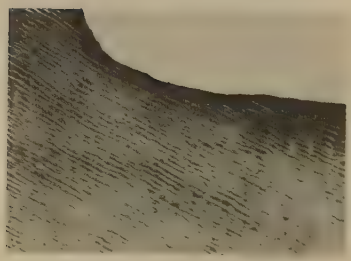


Abb. 30
einstrahliger
Spray

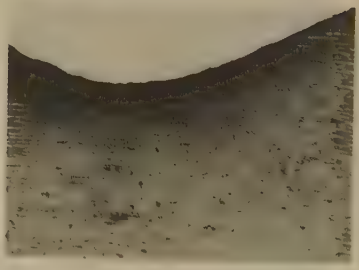


Abb. 33
einstrahliger
Spray

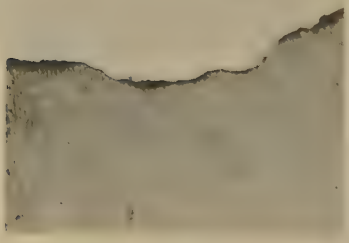


Abb. 31
zweistrahliger
Spray

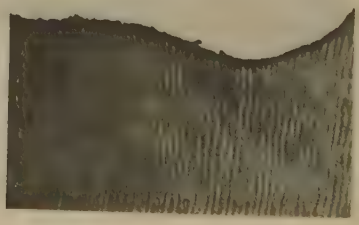


Abb. 34
zweistrahliger
Spray

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen

Kavitätenwandausschnitte nach Präparation mit:

395.000 U/min in Siemens-Sirona-Turbine

Hartmetall-
Fissurenbohrer

Diamantschleifer
Nr. 86 D & Z

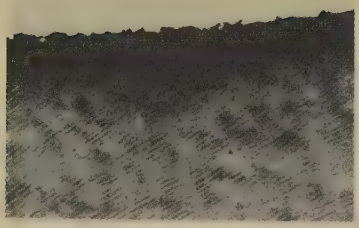


Abb. 35
trocken

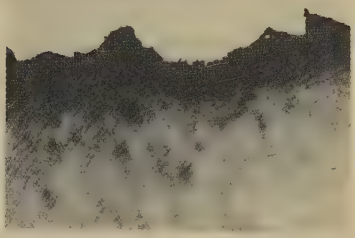


Abb. 38
trocken

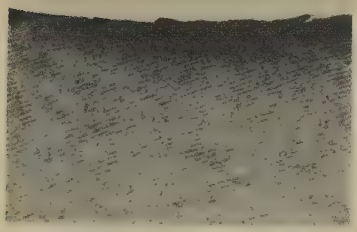


Abb. 36
1 Wasserstrahl

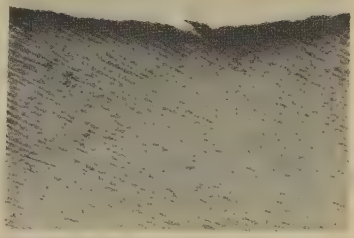


Abb. 39
1 Wasserstrahl

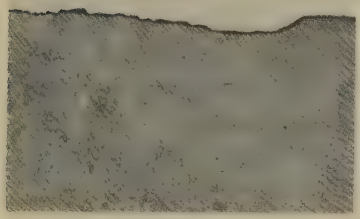


Abb. 37
2 Wasserstrahle

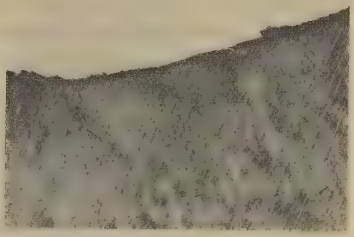


Abb. 40
2 Wasserstrahle

Vergrößerung = 192 x für alle Abbildungen

b) Härtemessungen

In den folgenden 28 Tabellen werden bei jedem Versuch pro angewendeter Kühlmethode 3 Präparate (Zähne) auf Härte getestet. Bei allen Geräten konnten Trockenpräparation und 2 verschiedene Kühlmethoden (= 9 Zähne), beim D & Z Übersetzungswinkelstück RT-150 aber nur Trockenpräparation und 1 Kühlmethode (= 6 Zähne) angewendet werden.

Da die Kühlmethoden aber nur für den histologischen Teil der Arbeit Bedeutung haben, können wir hier sagen, daß pro Versuchsanordnung Schmelz und Dentin von 9 Zähnen (beim RT-150 von 6 Zähnen) auf Härte geprüft wurden. An jedem Zahn wurden beim Schmelz 30 und beim Dentin 18 Härteeindrücke ausgewertet.

Zu Tab. 3: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben
bei 6.000 U/min

An 9 Zähnen wurden im Schmelz 270 Härteeindrücke ausgewertet, die zur Kavität hin einen Härteabfall von durchschnittlich 2,6 kg/mm^2 erkennen lassen.

Zu Tab. 3a: Die 162 Härtemessungen im Dentin zeigten keinerlei Veränderungen der Härte.

Zu Tab. 4: Ka-Vo-Borden-Airotor mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 390.000 U/min
(altes Handstück bei 300.000 U/min)

An 6 mit 390.000 U/min präparierten Zähnen wurden 180, an 3 mit 300.000 U/min präparierten Zähnen wurden 90 Härteeindrücke im Schmelz ausgewertet. Alle 9 zeigten einen Härteabfall des Schmelzes (Differenz zwischen 50 µ und 550 µ). von durchschnittlich 22,8 kg/mm^2.

Zu Tab. 4a: Die 162 Härtewerte des Dentins weisen weder bei den 6 mit 390.000 U/min noch bei den 3 mit 300.000 U/min präparierten Zähnen Unterschiede auf.

Zu Tab. 5: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 6.000 U/min

Bei allen 9 Zähnen ergibt sich eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 4,7 kg/mm^2 nach 270 Messungen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß der Härteabfall nur bis zu einer Tiefe von etwa 200 bis 300 µ reicht.

Zu Tab. 5a: Bei 162 Härtemessungen im Dentin konnte keine Härtedifferenz festgestellt werden.

Zu Tab. 6: Ka-Vo-Borden Airotor mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 390.000 U/min (altes Handstück bei 300.000 U/min)

An 6 mit 390.000 U/min präparierten Zähnen wurden 180, an 3 mit 300.000 U/min präparierten Zähnen wurden 90 Härtemessungen im Schmelz gemacht. Es ergab sich bei allen 9 Zähnen eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ,vom Kavitätenrande aus gemessen, von 29,8 kg/mm^2.

Zu Tab. 6a: Bei 144 Härtemessungen weisen alle 8 getesteten Zähne keinen Härteabfall im Dentin zum Kavitätenrand hin auf.

Zu Tab. 7: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 20.000 U/min

An allen 9 Zähnen ergibt sich bei 270 Härtemessungen im Schmelz eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, von 8,6 kg/mm^2. Bei etwa 350 µ vom Kavitätenrand stellten sich aber schon die normalen Härtewerte ein.

Zu Tab. 7a: Die 162 Härtewerte im Dentin weisen in keinem der 6 Meßbereiche Unterschiede auf.

Zu Tab. 8: Siemens-Sirona-Turbine mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 395.000 U/min (alter Winkelkopf bei 320.000 U/min)

An 6 mit 395.000 U/min präparierten Zähnen wurden 180, an 3 mit 320.000 U/min präparierten Zähnen wurden 90 Härteeindrücke im Schmelz ausgewertet. Alle 9 Zähne zeigten eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 26,5 kg/mm^2.

Zu Tab. 8a: Die 144 Härteprüfungen des Dentins zeigen weder bei den 5 mit 395.000 U/min noch bei den 3 mit 320.000 U/min präparierten Zähnen Härtedifferenz auf.

Zu Tab. 9: Imperatorhandstück mit Winkelkopf D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 20.000 U/min

Die 270 Härteprüfungen im Schmelz aller 9 Zähne ergeben eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 18,8 kg/mm^2. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß dieser verhältnismäßig große Wert nur auf das Konto von Präp. Nr. 29a geht, das schon zwischen den ersten beiden Meßbereichen eine Härtedifferenz von 77,8 kg/mm^2 anzeigt. Klammert man diesen Wert aus, so kommen wir bei 8 übrigen Präparaten auf eine durchschnittliche Härtedifferenz von 7,6 kg/mm^2, die aber auch nur bis zu einer Tiefe von etwa 300 µ reicht.

Zu Tab. 9a: 162 Härtemessungen im Dentin zeigen gleichbleibende Werte.

Zu Tab. 10: Siemens-Sirona-Turbine mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 395.000 U/min (alter Winkelkopf mit 320.000 U/min)

An 6 mit 395.000 U/min präparierten Zähnen wurden 180, an 3 mit 320.000 U/min präparierten Zähnen wurden 90 Härteeindrücke ausgewertet. Bei allen 9 Zähnen ergab sich im Schmelz eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen

50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 24,3 kg/mm^2.

Zu Tab. 10a: An 8 Zähnen wurden 144 Härteprüfungen im Dentin ausgewertet, die keine Veränderung der Härte erkennen ließen.

Zu Tab. 11: Kerr-Übersetzungshandstück mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 40.000 U/min

Die 270 Härtemessungen im Schmelz der 9 Zähne ergaben eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, von 9,6 kg/mm^2. Die Tiefe des Härteabfalls erreichte etwa 350 µ.

Zu Tab. 11a: Die 162 Härtewerte des Dentins weisen in keinem der 6 Meßbereiche nennenswerte Veränderungen der Härte auf.

Zu Tab. 12: Kerr-Übersetzungshandstück mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 80.000 U/min

270 Härtemessungen im Schmelz der 9 Zähne ergaben eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, von 7,5 kg/mm^2. Der Härteabfall erreichte eine Tiefe von etwa 350 µ.

Zu Tab. 12a: Die 162 Härtemessungen im Dentin zeigen fast gleiche Werte auf.

Zu Tab. 13: Kerr-Übersetzungshandstück mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 40.000 U/min

Die 270 Härtewerte im Schmelz ergaben eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, von 6,7 kg/mm^2. Die Tiefe des Härteabfalls erreichte etwa 300 µ.

Zu Tab. 13a: An 162 Härtemessungen im Dentin der 9 Zähne konnten keine nennenswerten Härtedifferenzen festgestellt werden.

Zu Tab. 14: Kerr-Übersetzungshandstück mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 80.000 U/min

Die 270 Härteprüfungen im Schmelz aller 9 Zähne wiesen eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 3,3 kg/mm^2 auf. Die Tiefe des Härteabfalls erreichte etwa 250 µ.

Zu Tab. 14a: An 9 Zähnen wurden im Dentin 162 Härteeindrücke ausgewertet, die keine Veränderungen der Härte erkennen ließen.

Zu Tab. 15: D & Z Übersetzungswinkelstück RT-150 mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 80.000 U/min

180 Härtemessungen im Schmelz der 6 Zähne wiesen eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, von 4,0 kg/mm^2 auf. Etwa 250 µ erreichte die Tiefe des Härteabfalls.

Zu Tab. 15a: Bei 108 Härtemessungen im Dentin der 6 Zähne konnten keine Härtedifferenzen festgestellt werden.

Zu Tab. 16: D & Z Übersetzungswinkelstück RT-150 mit Hartmetall-Fissuren-Bohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 80.000 U/min

An allen 6 Zähnen konnte bei 180 Härtemessungen im Schmelz eine durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, von 4,6 kg/mm^2 festgestellt werden. Der Härteabfall erreichte eine Tiefe von etwa 250 µ.

Zu Tab. 16a: Bei 108 Härtemessungen im Dentin der 6 Zähne sind unveränderte Härtewerte gefunden worden.

Zusammenfassend ist den Tabellen zu entnehmen:

1.) Die Ergebnisse der Härteprüfung im kavitätennahen Schmelz nach Präparation mit 6.000 und 20.000 U/min.

Die durchschnittliche Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, beträgt nach Präparation im konventionellen Drehzahlbereich 5,9 kg/mm^2.

Bei 4 der hier getesteten 36 Kavitätenränder konnte erst eine Angleichung an normale Schmelzhärte bei etwa 500 µ festgestellt werden. Alle anderen Präparate zeigten schon bei ca. 250 µ normale Schmelzhärtewerte.

2.) Die Ergebnisse der Härteprüfung im kavitätennahen Schmelz nach Präparation mit 40.000 U/min und 80.000 U/min.

Auch hier zeigt sich ein Härteabfall im Schmelz zur Kavität hin, der aber mit durchschnittlich 6,1 kg/mm^2 nur wenig höher ist als bei Präparationen bis 20.000 U/min.

Von den hier getesteten 48 Kavitätenrändern zeigten bis auf 4 (normale Schmelzhärte erst bei 500 µ) alle anderen eine Angleichung an normale Schmelzhärtewerte bei einer Tiefe von ca. 250 µ vom Kavitätenrand entfernt.

3.) Die Ergebnisse der Härteprüfung im kavitätennahen Schmelz nach Präparation mit 300.000 und 395.000 U/min.

Die kavitätennahen Schmelzgebiete weisen gegenüber den entfernter gelegenen Bezirken deutliche Härteunterschiede auf. Von 36 getesteten Kavitätenrändern nach höchsttouriger Präparation zeigten 14 etwa bei 550 µ, 14 bei 450 µ, 7 bei 350 µ und 1 bei etwa 250 µ Abstand vom Kavitätenrand eine Angleichung an die normale Schmelzhärte.

Nach höchsttouriger Präparation beträgt die durchschnittliche Härtedifferenz im Schmelz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen: 25,9 kg/mm^2.

4.) Aus diesen Ergebnissen ist zu ersehen, daß bei Turbinen-Präparation (300.000 bis 395.000 U/min) der Härteabfall des Schmelzes ca. viermal so groß und das Gefüge der kavitätennahen Schmelzbezirke fast doppelt so tief aufgelockert ist wie bei Präparationen mit 6.000, 20.000, 40.000 und 80.000 U/min.

5.) Kühlmethoden oder Trockenpräparation sind ohne Einfluß.

6.) Art des Instrumentes (Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieb - Diamantschleifer Nr. 86 D & Z) ist ohne Einfluß.

7.) Die Auswertung sämtlicher Härteeindrücke im Dentin nach Anwendung aller aufgeführten Geräte und Drehzahlen bei der Präparation ergab keinerlei Härteabfall in den kavitätennahen Dentinbezirken.

Nebenbefunde:

1.) Die durchschnittliche Härtedifferenz von Schmelz zu Dentin menschlicher Zähne beträgt etwa 5:1 (4,83:1).

2.) Die Beobachtungen von K r e l l (14) und K i m m e r l e (11), daß an der Schmelz-Dentin-Grenze die Härteeindrücke von größerer Oberflächengestalt sind, können bestätigt werden.
K r e l l (14) erklärt das mit einer Anreicherung der interprismatischen Substanz in diesem Bereich.

3.) Die Härte des Dentins nimmt außerdem zur Pulpa hin ab. Das ist mit dem größeren Anteil organischer Substanz in diesem Bezirk des Dentins zu erklären.

V. Diskussion der Ergebnisse

Die normal-, hoch- und höchsttourig durchgeführten Kavitäten-Präparationen unter dem Einsatz verschiedener Kühlmethoden verursachten deutliche, histologisch erfaßbare Schädigungen im kavitätennahen Dentin, obwohl klinisch oder makroskopisch nichts nachzuweisen war.

An Hand von histologischen Präparaten konnte gezeigt werden, daß bei normal- bis hochtouriger Präparation unter Wasserberieselung keine Hitzeschädigung auftritt. Die Präparation mit dem Übersetzungswinkelstück RT-150 bei 80.000 U/min und drei Spraydüsen rief fast keine Veränderung hervor, während bei Turbinenpräparation ohne jede Spraykühlung die Veränderungen größten Ausmaßes entstanden. Man ist nicht in der Lage, die Hitzeschädigung des Zahnes bei Turbinenpräparation auch mit der Anwendung der zwei Spraydüsen völlig auszuschalten, es sei denn, man verwendet eine zusätzliche Wasserberieselung. Die Behauptung Raubers (28), daß Turbinenpräparation mit dreistrahliger Sprayanwendung keine Schädigungen hinterläßt, fordert Kritik heraus. Es gibt keine Turbinen mit drei Spraydüsen. Das von ihm benutzte Übersetzungswinkelstück RT-150 mit ca. 80.000 bis 100.000 U/min kann nicht unter die "Turbinen" gerechnet werden.

Das Ausmaß der hitzegeschädigten Schicht spielt weniger bei der Kavitätenpräparation als beim Beschleifen der Zähne zur prothetischen Versorgung eine besondere Rolle. Es muß, um diese Schicht dünn zu halten, auf eine ausreichende Kühlung Wert gelegt werden. Nach Rauber (28) bestehen diese Veränderungen in einer pH-Wert-Verschiebung, einer Depolymerisation der organischen Bestandteile und einer Desorganisation der feingeweblichen Strukturen des kavitätennahen Dentins.

Eine Beeinträchtigung der physikalischen Eigenschaften des Dentins hinsichtlich des Widerstandes der Kavitätenwände gegenüber mechanischen Kräften durch die nachgewiesenen Veränderungen nimmt Rauber an, konnte jedoch von mir durch Härtemessung im kavitätennahen Dentin nicht nachgewiesen werden.

Die beabsichtigte Paralleluntersuchung über 1. Gefügeauflockerung im Schmelz nach höchsttouriger Präparation und daraus resultierende abfallende Härte und 2. Härteminderung des kavitätennahen Dentins nach thermischer Schädigung konnte wohl unter völlig gleichen Bedingungen in meiner Arbeit durchgeführt, die Ergebnisse aber nicht in Zusammenhang gebracht werden. Bei allen Härtemessungen im Dentin nach Anwendung sämtlicher Geräte, Drehzahlen und Kühlmethoden bei der Präparation konnten nur gleichbleibende normale Härtewerte festgestellt werden. Die gleichbleibende Härte des kavitätennahen Dentins ist nur so zu erklären, daß die hitzegeschädigte Schicht auch nach Turbinenpräparation ohne jegliche Kühlanwendung nur durchschnittlich 50 µ vom Kavitätenrande aus tief reicht. Die ersten Härteeindrücke jedoch konnten erst in einer Entfernung zwischen 50 und 100 µ vom Kavitätenrand entfernt gesetzt werden. Wäre man näher an die Kavität herangegangen, würde bei der Belastung durch die Härteprüfung die kavitätennahe Dentinschicht ausbrechen, obgleich die Kavität mit Kunststoff ausgefüllt war.

So kann dieser Annahme R a u b e r s (28) nur bedingt zugestimmt werden. Die Behauptung, daß eine Beeinträchtigung der physikalischen Eigenschaften des Dentins auftritt, muß auf die durch histochemische Methoden sichtbar gemachte, veränderte Zone eingeschränkt werden, deren Härte nicht zu messen war.

Interessant müßte es sein, einen mit diesen geschädigten Dentinpartien belasteten und abgefüllten oder überkronten vitalen Zahn nach einiger Zeit zu untersuchen. Auf diesem Wege wäre festzustellen, ob die depolymerisierte Zahnhartsubstanz eine 'restitutio ad integrum' erfährt oder sich in toxische Abbauprodukte zersetzt. Diese Stoffe könnten beim Abtransport zur Pulpa als Reizsubstanz auf das Pulpengewebe einwirken, so daß die Reibungswärme nicht nur direkte, sondern auch indirekte Wirkung auf die Pulpa hätte.

Um diese Schädigung des bearbeiteten Dentins auszuschließen oder den Grad der Schädigung möglichst gering zu halten, sollte man, wenn schon nicht bei der Kavitätenpräparation, so doch aber beim Beschleifen eines Zahnes zur prothetischen Versorgung, auf alle Fälle mit niedrigen Drehzahlen und Wasserberieselung nacharbeiten.

Bei den Härtemessungen der Vorversuche wurden durchschnittliche Härtewerte für Schmelz nach 600 Messungen von 321,7 kg/mm^2 und für Dentin nach 600 Messungen von 66,6 kg/mm^2 gefunden.

Diese Werte sind fast identisch mit den von K r e l l (14) 1953 gefundenen. Er gibt die mittlere Schmelzhärte mit 337 kg/mm^2 und die mittlere Dentinhärte mit 67,0 kg/mm^2 an.

Auch der Härtewert des Dentins von K i m m e r l e (11) liegt mit 67,59 kg/mm^2 in der gleichen Größenordnung, während sein mittlerer Schmelzhärtewert mit 274,39 kg/mm^2 wesentlich niedriger ist. Nach den von K r e l l (14) gefundenen Werten läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß die Härte frisch extrahierter Zähne identisch ist mit dem getesteten Zahnmaterial, das vorübergehend in 5 %iger Formaldehydlösung aufbewahrt war. B a l l e (3) gibt außerdem nach Vergleichen mit K i m m e r l e s (11) Härtewerten an, daß kein Härteunterschied zwischen bleibenden Zähnen und Milchzähnen festzustellen wäre.

Bei den Härtemessungen der vorliegenden Hauptversuche wurden im kavitätennahen Schmelz aller Zähne nach normal-, hoch- und höchsttouriger Präparation Härteveränderungen gefunden, deren Werte durch die statistischen Berechnungen gesichert wurden (s. Tab. 3 bis 16a).

Die Ergebnisse der Turbinen-Kavitätenpräparation ergaben, daß die Härteunterschiede, d. h. die Gefügeauflockerung des Schmelzes, fast doppelt so tief reicht wie bei den Vergleichskavitäten nach Präparation mit 6.000, 20.000, 40.000 und 80.000 U/min. Auch die Härtedifferenz der jeweils normalen Schmelzhärte zu den im Abstand von 50 µ vom Kavitätenrand gemessenen Werten ist ungefähr viermal so groß.

Vergleichbare Untersuchungen sind bisher nur von K i m m e r l e (11) veröffentlicht worden, dessen Angaben über die Ausbreitung der Gefügeauflockerung des Schmelzes nach verschiedenster Präparation voll bestätigt werden können.

Seine durchschnittlichen Härtedifferenzwerte nach Turbinenpräparation mit 51 kg/mm^2 zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen, und nach Präparation im konventionellen Drehzahlbereich von 28,9 kg/mm^2 konnten jedoch nicht annähernd gestützt werden.

Nach meinen Messungen beträgt die durchschnittliche Härtedifferenz im Schmelz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrand aus gemessen:

1. nach Präparation mit 6.000 und 20.000 U/min = 5,9 kg/mm^2
2. nach Präparation mit 40.000 und 80.000 U/min = 6,1 kg/mm^2
3. nach Turbinenpräparation = 25,9 kg/mm^2

"Als Ursachen für die Gefügeauflockerung kommen in erster Linie mechanische Insulte der rotierenden Instrumente in Frage" (K i m m e r l e , 11).

Die Möglichkeit der thermischen Schädigung muß aus oben genannten Gründen ausgeschlossen werden. Eine mechanische Schädigung des Dentins durch Vibration konnte ebenfalls nicht gefunden werden. Es ist anzunehmen, daß das Dentin im ganzen zu weich ist und die anorganischen Bestandteile in der organischen Matrix den Dentins zu "auffangfreudig" gelagert sind. Da die Kavitäten mit Kunststoff ausgefüllt wurden, kann eine Beeinflussung der kavitätennahen Schmelzbezirke bei der Herstellung der Schliffpräparate ausgeschaltet werden. Durch die Verwendung kariesfreier Zähne und die Bearbeitung der Kavitätenränder vor den Testversuchen mit einem Gingivalrandschräger können weitere Zweifel an der Richtigkeit des Härteabfalls nach Präparation behoben werden. Der Einfluß der Drehzahl muß deshalb als wesentlicher Faktor angenommen werden. Es ist durchaus vorstellbar, daß das kristalline Gefüge des Schmelzes durch Mikroerschütterungen in schneller Folge, hervorgerufen durch die hohen Umdrehungszahlen, aufgelockert wird. Die Beobachtung der größeren Auflockerungstiefe bei höchsttouriger Präparation läßt diese Deutung wahrscheinlich werden.

Die makroskopisch sichtbare oberflächliche Rauhigkeit der zersplitterten Schmelzschicht, bei auslaufenden Bohrern und Schleifern werden oft Schmelzprismen herausgerissen (L i n k e , 16, und O n t r u p , 23), wurde von mir mit Gingivalrandschräger entfernt, es blieb nur die Gefügeauflockerung der kavitätennahen Schmelzbezirke zurück.

Für die praktische Tätigkeit des Zahnarztes kann gefolgert werden: Die rings um den Füllungsrand verlaufende Zone des gefügeaufgelockerten Schmelzes muß vermieden werden, um einen prädisponierenden Faktor zur Entstehung einer Sekundärkaries auszuschalten.

Aus diesen Gründen besteht die Forderung K i m m e r l e s (11) zu Recht, der es für unbedingt erforderlich hält, speziell nach höchsttouriger Präparation, die Schmelzränder mit konventionellen Drehzahlen nachzuarbeiten und mit Handwerkzeugen zu glätten. Damit müßten die zurückbleibenden Gefügeauflockerungen auf ein Mindestmaß reduziert sein.

VI. Zusammenfassung

An 20 frischextrahierten Zähnen wurden durch 1200 Mikrohärtemessungen die mittlere Schmelzhärte HV = 321,7 kg/mm^2 und die mittlere Dentinhärte HV = 66,6 kg/mm^2 bestimmt.

An 60 frischextrahierten Zähnen sind mit den Drehzahlen 6.000, 20.000, 40.000, 80.000 und 300.000 bis 395.000 U/min unter verschiedenen Kühlbedingungen bukkal bzw. labial und palatinal bzw. lingual nierenförmige Zahnhalskavitäten präpariert worden. Anschließend wurden die Zähne in der Längsachse halbiert, so daß jede der beiden Zahnhälften die unter gleichen Bedingungen präparierten Kavitäten aufwies.

Die einen Zahnhälften wurden histologisch auf thermische Schädigung des Dentins durch Reibungswärme, die anderen auf Härte im kavitätennahen Schmelz und Dentin untersucht. Der vermutete Zusammenhang (E i c h n e r) zwischen thermischer Schädigung und daraus resultierenden Härteabfall im Dentin konnte nicht bestätigt werden.

1.) Histologischer Teil

Trockene Turbinenpräparation verursacht beträchtliche Hitzeschädigungen im Dentin. Bei Anwendung einer Spraydüse (Ka-Vo-Borden-Airotor) oder einem Wasserstrahl (Siemens-Sirona-Turbine) verringert sich die geschädigte Zone bis auf einen schmalen Saum, der bei zwei Spraydüsen oder zwei Wasserstrahlen sogar teilweise unterbrochen wird.

Auch die Anwendung von 6.000, 20.000, 40.000 und 80.000 U/min rief eine Schädigung, jedoch kleineren Ausmaßes, hervor, die bei verstärkter Spray- bzw. Wasserberieselung vermieden werden konnte.

Bei Benutzung von drei Spraydüsen (D & Z-RT-150) bei 80.000 U/min konnte bis auf äußerst geringfügige Anteile keine Veränderung im Dentin festgestellt werden, die auf thermische Schädigungen zurückzuführen wäre. Keinerlei Veränderungen konnten erst nach normal- bis hochtouriger Präparation unter Wasserberieselung gefunden werden.

Diamantschleifer bewirken im Gegensatz zu Hartmetall-Fissurenbohrern stets größere Dentinveränderungen, so daß bei ihrer Verwendung auch mit normalen Drehzahlen (6.000 U/min) unter Wasserstrahl gearbeitet werden sollte.

2.) Härtemessungen

Bei der Turbinenpräparation sind Gefügeauflockerungen des Schmelzes bis zu einem Kavitätenabstand von 550 µ gefunden worden. Die Härtedifferenz zwischen 50 und 550 µ, vom Kavitätenrande aus gemessen, betrug durchschnittlich 26 kg/mm^2. Die Vergleichskavitäten, die mit 6.000 bis 80.000 U/min präpariert wurden, wiesen eine wesentlich schwächere Auflockerung bis zu einem Abstand von ca. 250 µ vom Kavitätenrande auf. Die Härtedifferenz war mit durchschnittlich 6,0 kg/mm^2 ebenfalls wesentlich geringer.

Die Unterschiede der Meßwerte konnten in den meisten Fällen statistisch gestützt werden.

Für die praktische Zahnheilkunde erhebt sich deshalb die Forderung nach

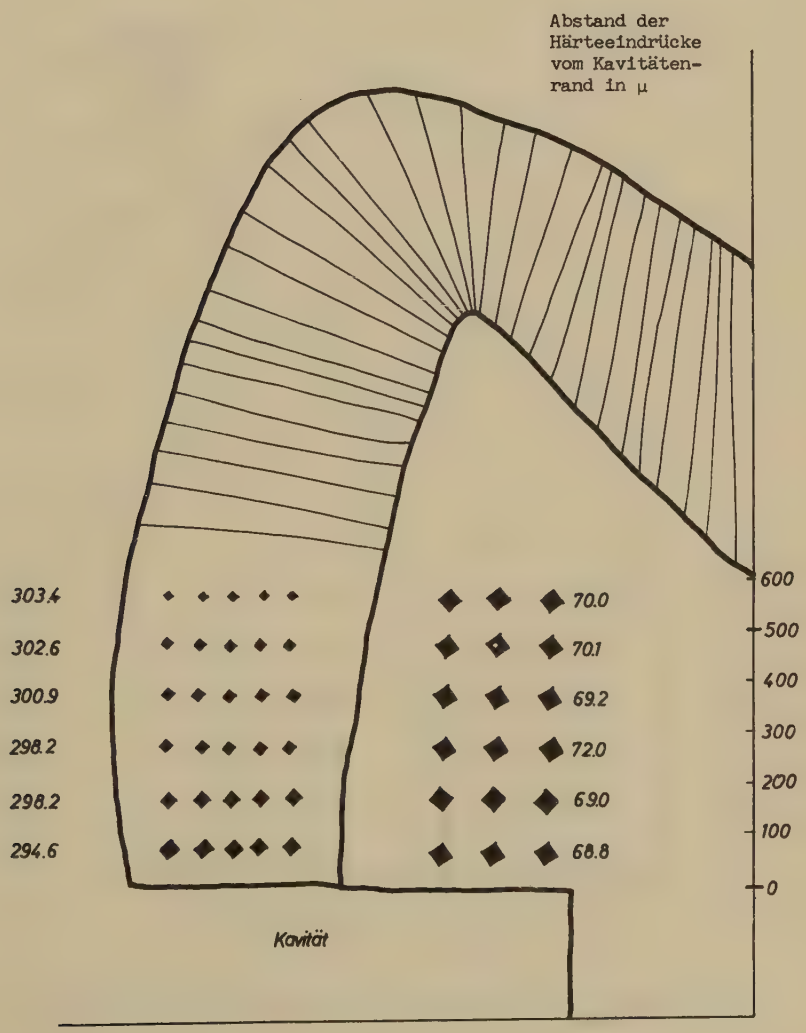
1. gewissenhafter Nachpräparation mit normalen Drehzahlen (6.000 U/min) unter Wasserberieselung der Kavitäten und besonders der zur prothetischen Versorgung bestimmten beschliffenen Zähne, um den Grad der thermischen Schädigung des Dentins möglichst klein zu halten.

2. äußerst sorgfältiger Behandlung des Kavitätenrandes, um der Ausbreitung der Sekundärkaries auf dem Boden der Gefügeauflockerung des Schmelzes zu begegnen.

Abschließend kann festgestellt werden, daß außer der Bestätigung einiger in der Literatur bereits niedergelegter Ergebnisse verschiedene neue, zum Teil auch abweichende Resultate zu verzeichnen sind.

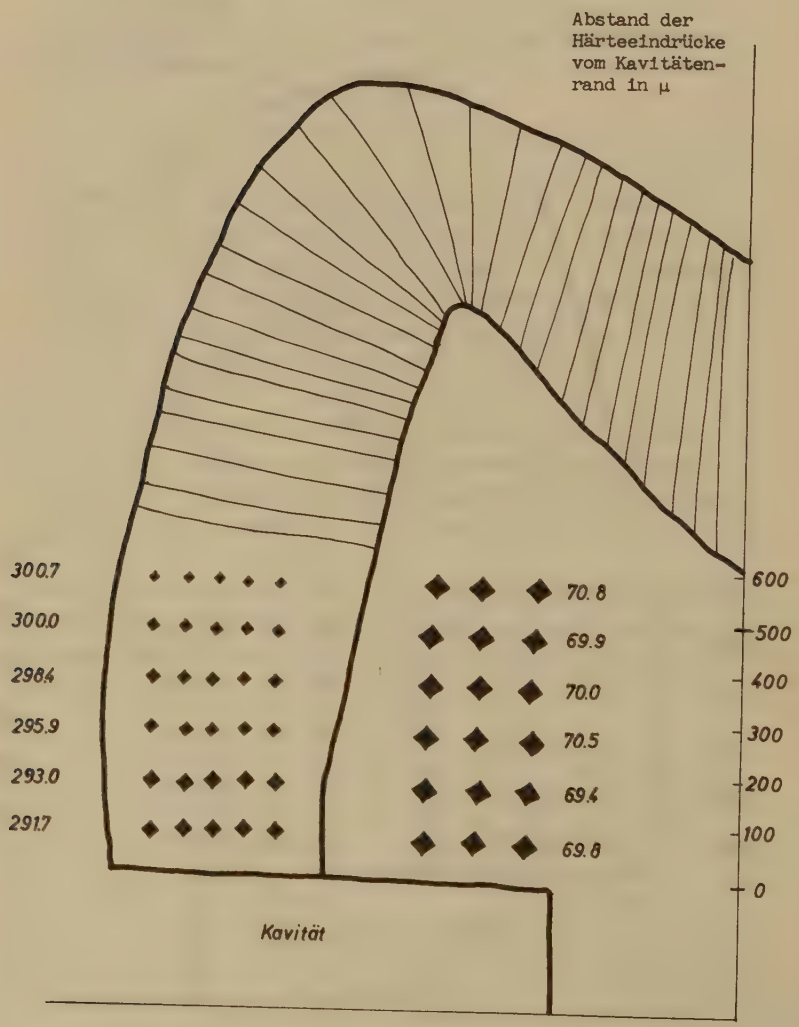
Mikrohärtemessung:

Eindrucksverteilung und durchschnittliche Vickershärtemeßwerte (kg/mm^2) im kavitätennahen Schmelz und Dentin nach Präparation mit 40.000 U/min.
Kühlmethode und Instrument (Hartmetall-Fissurenbohrer oder Diamantschleifer) waren ohne Einfluß.



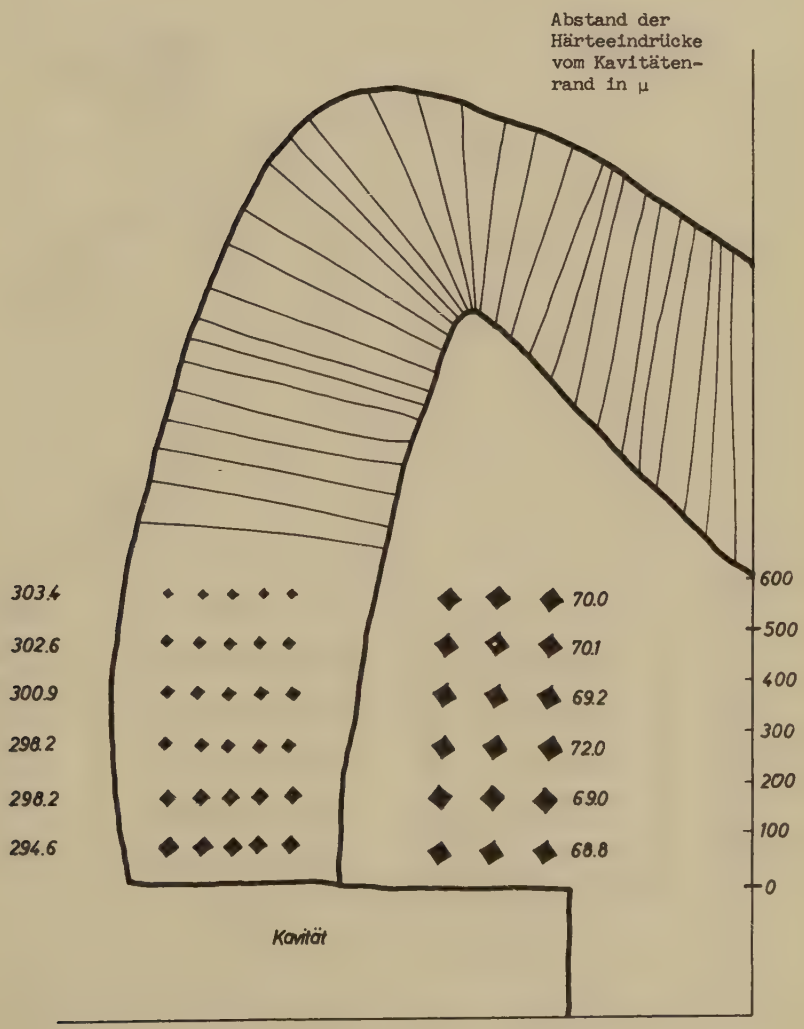
Mikrohärtemessung:

Eindrucksverteilung und durchschnittliche Vickershärtemeßwerte (kg/mm^2) im kavitätennahen Schmelz und Dentin nach Präparation mit 80.000 U/min.
Kühlmethode und Instrument (Hartmetall-Fissurenbohrer oder Diamantschleifer) waren ohne Einfluß.



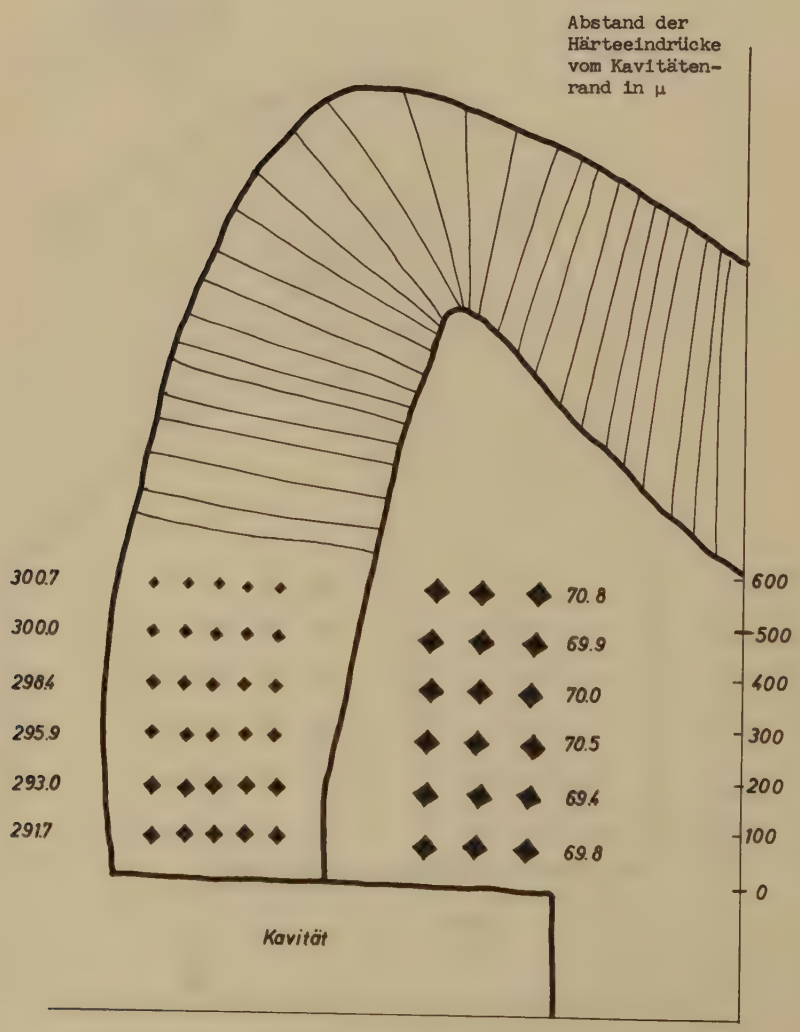
Mikrohärtemessung:

Eindrucksverteilung und durchschnittliche Vickershärtemeßwerte (kg/mm^2) im kavitätennahen Schmelz und Dentin nach Präparation mit 40.000 U/min.
Kühlmethode und Instrument (Hartmetall-Fissurenbohrer oder Diamantschleifer) waren ohne Einfluß.



Mikrohärtemessung:

Eindrucksverteilung und durchschnittliche Vickershärtemeßwerte (kg/mm^2) im kavitätennahen Schmelz und Dentin nach Präparation mit 80.000 U/min.
Kühlmethode und Instrument (Hartmetall-Fissurenbohrer oder Diamantschleifer) waren ohne Einfluß.



Mikrohärtemessung:

Eindrucksverteilung und durchschnittliche Vickershärtemeßwerte (kg/mm^2) im kavitätennahen Schmelz und Dentin nach Präparation mit 300.000 - 395.000 U/min.
Kühlmethode und Instrument (Hartmetall-Fissurenbohrer oder Diamantschleifer) waren ohne Einfluß.

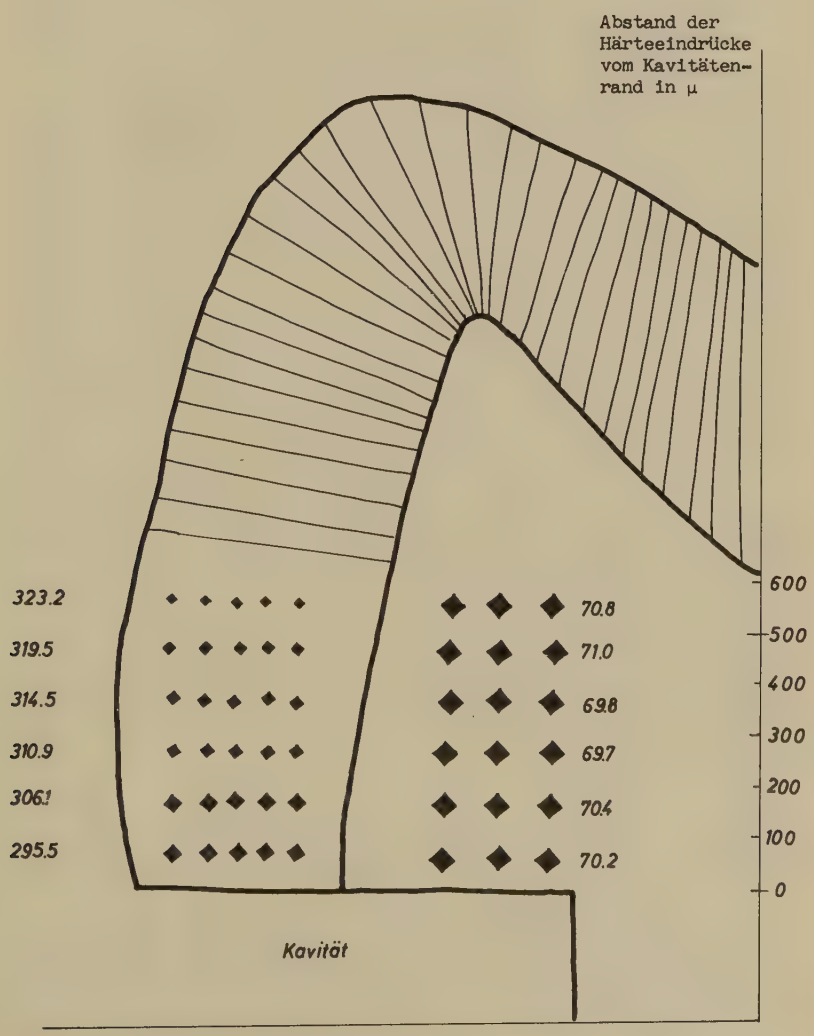


Tabelle 3: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 6.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400 500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
1 a	trocken	328,6	±13,5	5	322,6	±6,6	5	328,6	±7,5	5	322,8	±8,4	5	322,0	±4,4	5	323,4	±4,8	5
2 a		323,2	± 7,5	5	320,2	±11,4	5	311,2	±4,7	5	323,2	±5,5	5	320,4	±6,4	5	322,6	±5,7	5
3 a		315,0	± 7,0	5	320,6	± 7,5	5	310,2	±3,3	5	318,4	±1,8	5	317,4	±4,3	5	316,2	±5,5	5
4 a	1/2 Luft + 1/2 Wasser-spray	309,6	± 4,3	5	310,4	± 5,4	5	316,9	±4,5	5	314,2	±2,3	5	309,6	±4,5	5	313,2	±6,0	5
5 a		303,4	± 4,6	5	313,0	± 6,6	5	305,9	±6,1	5	313,6	±5,8	5	313,6	±4,5	5	311,6	±5,5	5
6 a		311,4	± 5,5	5	300,6	± 4,0	5	312,4	±2,8	5	312,0	±9,7	5	316,2	±9,4	5	312,0	±5,9	5
7 a	Wasser-strahl	303,0	± 7,7	5	316,3	±10,1	5	310,2	±10,8	5	308,2	±6,6	5	311,8	±7,4	5	313,9	±6,8	5
8 a		285,0	± 7,4	5	295,6	± 2,2	5	294,9	± 2,8	5	294,4	±3,3	5	295,4	±3,2	5	292,8	±1,8	5
9 a		297,0	± 9,8	5	290,2	± 2,2	5	287,2	± 3,3	5	298,0	±4,8	5	290,0	±2,7	5	293,6	±6,2	5

Tabelle 3 a : Imperatorhandstück mit Winkelkopf
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 6.000 U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
1 a	trocken	69,8	± 1,0	3	66,3	± 1,3	3	66,1	± 1,2	3	66,2	± 1,0	3	66,5	± 1,0	3	65,8	± 0,2	3
2 a		74,6	± 3,4	3	69,5	± 2,8	3	67,2	± 1,4	3	66,4	± 1,5	3	67,3	± 0,2	3	65,9	± 0,1	3
3 a		67,8	± 0,2	3	67,7	± 1,3	3	67,8	± 0,4	3	69,4	± 1,9	3	68,3	± 1,7	3	69,1	± 0,1	3
4 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	68,4	± 0,2	3	68,4	± 0,2	3	68,2	± 0,3	3	68,8	± 1,1	3	67,4	± 0,4	3	67,9	± 0,3	3
5 a		64,7	± 1,6	3	65,4	± 0,3	3	63,9	± 1,8	3	65,8	± 0,3	3	67,2	± 1,8	3	66,3	± 0,2	3
6 a		73,2	± 3,0	3	72,6	± 1,2	3	72,8	± 1,2	3	71,6	± 0,2	3	71,2	± 1,0	3	70,7	± 0,2	3
7 a	Wasser-strahl	68,1	± 4,3	3	69,8	± 1,4	3	69,4	± 1,0	3	69,3	± 0,3	3	70,3	± 0,2	3	69,6	± 0,3	3
8 a		69,8	± 1,1	3	69,5	± 0,6	3	69,7	± 1,4	3	70,4	± 0,2	3	70,6	± 0,2	3	69,7	± 1,0	3
9 a		63,2	± 3,1	3	68,5	± 0,2	3	71,5	± 1,6	3	71,4	± 2,3	3	71,2	± 0,2	3	70,8	± 0,2	3

Tabelle 4: Ka-Vo - Borden Airotor mit
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 39o.ooo U/min.
(altes Handstück bei 3oo.ooo U/min.)

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
1 b	trocken	3o4,o	± 5,9	5	317,9	± 6,2	5	319,2	± 7,5	5	324,2	± 5,1	5	326,2	± 3,6	5	326,6	± 6,4	5
2 b		312,4	± 2,o	5	316,8	± 6,o	5	314,8	± 5,7	5	316,2	± 7,9	5	316,2	± 5,4	5	332,2	± 4,7	5
3 b		296,8	± 8,5	5	29o,6	± 3,3	5	293,9	± 5,4	5	3o4,o	± 5,o	5	3o8,6	± 5,o	5	316,6	± 5,6	5
4 b	1 Spray-Düse	264,4	± 8,o	5	296,8	± 1,7	5	3oo,8	± 2,4	5	3o4,6	± 4,4	5	313,4	± 3,3	5	317,6	± 4,7	5
5 b		294,2	± 4,4	5	3o3,8	± 5,7	5	3o9,4	± 5,8	5	313,o	± 4,o	5	314,4	± 3,8	5	316,2	± 3,2	5
6 b		297,2	± 6,7	5	297,4	± 11,7	5	3oo,9	± 7,2	5	312,6	± 9,9	5	315,2	± 7,8	5	315,8	± 8,8	5
7 b	2 Spray-Düsen	296,4	± 7,2	5	299,2	± 1,6	5	3o4,2	± 3,3	5	3o7,o	± 3,2	5	3o8,4	± 2,2	5	311,4	± 3,7	5
8 b		276,6	± 5,1	5	286,o	± 4,o	5	286,4	± 3,1	5	291,6	± 4,9	5	291,2	± 3,2	5	294,2	± 4,8	5
9 b		3o4,4	± 4,2	5	3o7,4	± 2,8	5	3o9,8	± 3,2	5	312,2	± 5,6	5	3o8,2	± 2,o	5	314,o	± 3,6	5

Tabelle 4 a: Ka-Vo - Borden Airotor mit
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 39o.ooo U/min.
(altes Handstück bei 3oo.oo U/min.)

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
1 b	trocken	71,9	± 3,o	3	67,9	±1,2	3	67,7	± o,2	3	67,9	± 2,3	3	67,o	± 2,1	3	66,3	±o,3	3
2 b		69,7	± 2,7	3	7o,7	±o,2	3	69,o	± 1,o	3	72,o	± 1,2	3	69,o	± o,1	3	69,2	±o,1	3
3 b		68,4	± o,3	3	68,6	±1,3	3	67,7	± o,7	3	67,9	± o,6	3	68,o	± o,2	3	67,7	±1,o	3
4 b	1 Spray-Düse	62,4	± 2,3	3	68,6	±1,1	3	68,5	± o,1	3	68,3	± 1,4	3	7o,3	± 1,7	3	71,4	±1,2	3
5 b		62,9	± o,2	3	63,2	±o,3	3	63,5	± 1,9	3	62,7	± o,4	3	62,6	± o,3	3	63,2	±o,2	3
6 b		74,1	± 3,2	3	73,4	±o,2	3	72,1	± o,3	3	72,4	± 1,4	3	71,8	± 1,7	3	71,4	± 2,2	3
7 b	2 Spray-Düsen	73,6	± 1,4	3	71,7	±1,2	3	71,7	± 1,4	3	71,9	± 2,5	3	71,1	± 1,7	3	72,4	± 2,8	3
8 b		73,1	± o,3	3	74,4	±o,2	3	72,2	± 2,2	3	73,4	± o,2	3	71,8	± 2,1	3	72,9	± 2,4	3
9 b		68,7	± 1,4	3	69,7	±o,2	3	69,5	± o,3	3	69,8	± o,3	3	69,6	± o,3	3	7o,1	± o,9	3

Tabelle 5 : Imperatorhandstück mit Winkelkopf
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 6.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
10 a	trocken	308,8	±18,1	5	298,4	± 12,2	5	308,2	±10,7	5	317,2	± 5,9	5	313,0	±3,7	5	313,2	± 9,6	5
11 a		317,2	± 4,5	5	312,4	± 4,5	5	315,6	± 2,2	5	317,2	± 2,6	5	323,0	±3,7	5	320,2	± 3,4	5
12 a		318,6	± 3,7	5	322,0	± 4,8	5	311,4	±13,6	5	309,6	± 8,3	5	317,2	±6,4	5	316,0	± 6,4	5
13 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	302,6	±10,0	5	300,2	± 3,7	5	306,0	± 0,0	5	313,6	± 3,2	5	312,8	±2,4	5	313,2	± 8,6	5
14 a		312,0	±12,6	5	316,6	±13,2	5	312,2	± 7,8	5	318,8	± 3,3	5	321,4	±4,6	5	316,6	± 1,7	5
15 a		318,2	± 4,5	5	316,6	± 4,3	5	320,4	± 5,4	5	328,6	± 5,2	5	327,0	±6,1	5	325,4	± 9,4	5
16 a	Wasser-strahl	282,4	±15,3	5	283,4	± 1,7	5	281,8	± 2,1	5	284,2	± 9,2	5	286,8	±1,7	5	284,4	± 7,8	5
17 a		328,0	± 5,7	5	327,8	± 4,2	5	331,2	± 6,6	5	329,2	± 6,0	5	333,6	±3,0	5	338,4	± 3,5	5
18 a		312,6	± 5,2	5	308,4	± 1,6	5	315,2	± 6,8	5	312,4	± 3,7	5	313,6	±4,2	5	315,4	± 3,2	5

Tabelle 5 a: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 6.000 U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50 100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
1o a	trocken	67,4	± o,5	3	67,1	±1,6	3	67,6	±2,o	3	67,9	± o,5	3	67,7	±o,3	3	67,9	± o,1	3
11 a		75,7	± 3,1	3	73,2	±1,4	3	7o,4	±1,1	3	69,7	± 1,4	3	69,6	±o,2	3	74,1	± 2,5	3
12 a		72,1	± 2,4	3	7o,6	±1,1	3	73,o	±1,1	3	72,o	± o,9	3	71,8	±o,6	3	7o,7	± o,3	3
13 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	68,9	± 3,6	3	7o,7	±o,5	3	7o,5	±o,8	3	69,6	± o,6	3	7o,6	±o,3	3	7o,7	± o,1	3
14 a		67,3	± 1,7	3	69,2	±o,3	3	69,6	±o,6	3	7o,o	± o,1	3	7o,7	±o,3	3	7o,2	± o,5	3
15 a		69,9	± o,9	3	72,4	±o,4	3	7o,9	±o,1	3	7o,3	± o,6	3	71,9	±2,2	3	71,8	± 2,2	3
16 a	Wasser-strahl	78,7	± 1,o	3	69,7	±o,1	3	7o,2	±o,9	3	69,9	± o,o	3	7o,3	±o,1	3	7o,o	± o,1	3
17 a		73,6	± o,8	3	73,9	±o,2	3	71,3	±1,1	3	72,9	± o,4	3	73,4	±o,1	3	73,7	± o,4	3
18 a		71,2	± 1,o	3	71,o	±o,3	3	7o,6	±o,1	3	7o,4	± o,3	3	7o,4	±o,3	3	71,3	± o,2	3

Tabelle 6 : Ka-Vo-Borden-Airotor mit
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 390.000 U/min.
(altes Handstück bei 300.000 U/min.)

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
10 b	trocken	292,8	±10,3	5	306,2	±12,1	5	317,2	± 4,3	5	310,4	±2,0	5	319,6	±6,3	5	317,0	±5,5	5
11 b		275,2	± 4,4	5	280,4	± 9,6	5	297,4	± 3,3	5	297,8	±9,7	5	311,4	±12,5	5	313,6	±8,5	5
12 b		306,0	± 7,8	5	317,8	± 9,1	5	320,0	± 4,3	5	320,6	±4,2	5	320,6	± 7,8	5	325,6	±5,7	5
13 b	1 Spray-düse	284,8	± 7,4	5	308,4	± 3,3	5	315,0	± 9,7	5	317,2	±4,2	5	318,8	± 1,7	5	324,0	±5,3	5
14 b		313,0	± 9,1	5	319,4	± 9,5	5	321,8	± 2,9	5	327,0	±7,2	5	323,0	± 4,1	5	327,6	±5,9	5
15 b		293,0	± 3,1	5	300,8	± 3,4	5	301,2	± 5,3	5	317,2	±13,5	5	333,6	± 4,1	5	333,2	±6,5	5
16 b	2 Spray-düsen	289,8	± 4,1	5	288,4	± 4,7	5	293,0	± 3,7	5	299,6	± 4,7	5	307,4	± 5,5	5	310,4	±3,2	5
17 b		293,4	± 9,3	5	315,6	± 7,1	5	313,4	± 2,4	5	318,6	± 4,6	5	326,0	± 3,7	5	331,0	±5,0	5
18 b		302,2	± 6,0	5	317,6	± 5,0	5	320,6	± 5,1	5	324,8	± 5,8	5	326,4	± 8,5	5	325,8	±4,7	5

Tabelle 6 a : Ka-Vo-Borden-Airotor mit
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 390.000 U/min.
(altes Handstück bei 300.000 U/min.)

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
10 b	trocken	67,1	± 3,1	3	66,9	±1,2	3	68,2	± 0,4	3	67,7	±0,6	3	68,2	±0,3	3	67,4	±1,0	3
11 b		66,6	± 2,2	3	68,5	±1,0	3	69,0	± 0,1	3	69,5	±0,9	3	67,9	±0,3	3	67,8	±0,0	3
12 b		76,1	± 2,5	3	72,1	±3,0	3	71,1	± 0,1	3	72,8	±1,9	3	73,6	±0,5	3	71,3	±3,6	3
13 b	1 Spray-Düse	69,1	± 0,9	3	69,4	±0,6	3	69,3	± 0,8	3	69,7	±1,0	3	69,4	±0,2	3	66,3	±3,0	3
14 b		68,1	± 0,3	3	72,7	±2,5	3	72,4	± 1,7	3	72,4	±0,4	3	71,4	±0,4	3	71,6	±0,4	3
15 b		74,1	± 1,6	3	72,4	±0,7	3	71,4	± 0,2	3	71,5	±0,5	3	72,3	±0,3	3	72,2	±0,8	3
16 b	2 Spray-Düsen	70,3	± 1,4	3	71,7	±0,3	3	73,9	± 0,2	3	71,5	±0,1	3	71,9	±0,5	3	73,0	±0,9	3
17 b																			
18 b		71,2	± 0,4	3	72,6	±1,0	3	72,1	± 0,4	3	72,5	±0,3	3	72,8	±0,3	3	73,1	±0,1	3

Tabelle 7 : Imperatorhandstück mit Winkelkopf

Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 2o.ooo U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
19 a	trocken	295,o	±13,5	5	299,2	±1,3	5	3o9,o	±3,8	5	313,o	±2,7	5	316,8	± 6,3	5	318,4	±6,6	5
2o a		324,2	± 5,6	5	311,o	±5,5	5	323,6	±2,4	5	328,4	±2,9	5	33o,4	± 3,1	5	33o,4	±2,6	5
21 a		323,2	± 4,5	5	326,9	±6,8	5	324,8	±4,6	5	334,2	±3,o	5	33o,8	± 4,9	5	33o,8	±7,1	5
22 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	315,2	± 6,4	5	31o,4	±4,3	5	3o6,8	±3,2	5	316,o	±1,o	5	3o7,4	± 4,5	5	318,2	±5,5	5
23 a		314,8	± 2,7	5	298,6	±1,7	5	3o4,o	±5,1	5	3o5,4	±4,1	5	314,2	± 3,1	5	319,4	±4,9	5
24 a		299,4	± 2,8	5	3o2,o	±2,8	5	3o6,o	±2,3	5	315,4	±3,7	5	316,2	± 1,9	5	3o8,6	±3,1	5
25 a	Wasser-strahl	3oo,2	± 4,2	5	3oo,8	±2,1	5	299,2	±2,8	5	3o5,6	±5,2	5	3o2,8	± 3,9	5	3o4,o	±1,8	5
26 a		3o5,2	± 8,2	5	3oo,8	±3,2	5	3o1,o	±5,1	5	313,4	±8,1	5	312,o	± 5,4	5	315,4	±4,8	5
27 a		3o5,4	± 4,3	5	3o2,4	±7,3	5	3o9,2	±1,8	5	311,2	±1,8	5	314,6	± 3,5	5	317,2	±1,8	5

Tabelle 7 a: Imperatorhandstück mit Winkelkopf

Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 2o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
19 a	trocken	73,3	± o,6	3	73,o	± o,4	3	73,1	±1,o	3	72,9	±o,4	3	73,o	± o,2	3	73,2	± o,3	3
2o a		69,2	± o,2	3	69,5	± o,1	3	69,3	±o,4	3	69,6	±o,4	3	69,8	± 1,o	3	71,1	± o,5	3
21 a		74,o	± o,3	3	73,9	± o,3	3	73,2	±o,3	3	73,4	±1,o	3	73,4	± o,9	3	73,1	± o,7	3
22 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	69,3	± o,1	3	69,4	± o,7	3	7o,2	±o,8	3	69,9	±o,4	3	7o,1	± o,1	3	69,5	± o,1	3
23 a		7o,o	± o,2	3	7o,3	± o,3	3	7o,3	±o,3	3	7o,4	±o,5	3	7o,5	± o,2	3	7o,5	± o,2	3
24 a		69,8	± o,3	3	69,7	± o,7	3	71,4	±1,o	3	72,o	±o,1	3	71,1	± o,1	3	7o,8	± o,5	3
25 a	Wasserstrahl	67,9	± o,5	3	68,5	± o,2	3	69,6	±o,1	3	69,5	±o,3	3	69,8	± o,3	3	69,8	± o,2	3
26 a		75,2	± o,7	3	75,7	± 1,4	3	74,4	±o,8	3	74,o	±1,1	3	74,o	± o,8	3	74,8	± o,8	3
27 a		69,1	± o,7	3	69,9	± o,o	3	7o,2	±o,2	3	7o,1	±o,2	3	69,5	± o,o	3	7o,2	± o,3	3

Tabelle 8: Siemens-Sirona-Turbine mit
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 395.000 U/min.
(alter Winkelkopf bei 320.000 U/min.)

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
19 b	trocken	279,4	±6,2	5	286,0	±5,5	5	286,2	±5,5	5	293,8	±2,0	5	301,6	±2,3	5	313,4	± 3,9	5
20 b		237,0	±8,1	5	234,0	±1,8	5	234,0	±1,7	5	244,4	±4,5	5	248,2	±2,8	5	264,0	± 3,7	5
21 b		295,8	±2,2	5	307,6	±9,8	5	310,2	±7,5	5	310,2	±7,1	5	317,2	±7,7	5	329,6	± 7,9	5
22 b	1 Wasser-strahl	297,4	±1,1	5	296,4	±4,1	5	301,0	±2,1	5	306,0	±3,9	5	311,4	±2,2	5	314,0	± 4,4	5
23 b		283,8	±1,8	5	284,2	±1,1	5	283,6	±5,4	5	291,4	±3,7	5	296,0	±3,7	5	300,8	± 2,2	5
24 b		292,2	±6,4	5	298,6	±4,1	5	305,2	±3,3	5	307,6	±6,6	5	313,4	±4,2	5	318,6	± 2,6	5
25 b	2 Wasser-strahle	279,8	±7,1	5	282,6	±3,2	5	285,2	±3,2	5	286,0	±2,7	5	296,6	±4,9	5	301,2	± 2,9	5
26 b		279,2	±13,1	5	288,4	±7,4	5	293,4	±2,3	5	296,6	±2,2	5	301,2	±2,2	5	311,5	± 3,5	5
27 b		296,2	±4,5	5	305,0	±5,9	5	311,4	±2,3	5	312,8	±4,9	5	313,0	±2,0	5	318,4	± 5,7	5

Tabelle 8 a: Siemens-Sirona-Turbine mit
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 395.000 U/min.
(alter Winkelkopf bei 320.000 U/min.)

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
19 b	trocken	67,1	±0,5	3	68,1	±0,4	3	68,8	±0,5	3	70,2	±1,4	3	70,4	±1,1	3	70,5	±1,4	3
20 b		71,8	±0,6	3	71,7	±0,4	3	72,4	±0,2	3	73,3	±0,1	3	73,4	±0,4	3	72,5	±0,1	3
21 b		74,3	±0,5	3	73,9	±0,2	3	72,7	±0,2	3	73,4	±0,2	3	73,3	±0,2	3	72,8	±0,3	3
22 b	1 Wasser-strahl	70,1	±0,6	3	70,6	±8,0	3	70,3	±0,1	3	69,9	±0,3	3	70,0	±0,4	3	69,9	±0,3	3
23 b		69,0	±0,1	3	69,7	±0,2	3	66,6	±0,1	3	70,1	±0,3	3	72,2	±0,2	3	70,1	±0,3	3
24 b		69,9	±0,7	3	70,2	±0,4	3	70,7	±1,7	3	69,9	±0,3	3	69,7	±0,4	3	71,1	±1,2	3
25 b	2 Wasser-strahle	64,8	±0,8	3	68,5	±0,2	3	68,9	±0,4	3	70,0	±0,3	3	70,4	±0,3	3	70,2	±0,3	3
26 b		75,8	±2,8	3	75,4	±0,6	3	75,1	±0,3	3	75,5	±0,1	3	75,4	±0,0	3	75,4	±0,6	3
27 b																			

Tabelle 9: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 2o.ooo U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50 - 100 µ			100 200 µ			200 – 300 µ			300 – 400 µ			400 – 500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
28 a	trocken	286,6	±13,4	5	277,2	±3,5	5	291,2	± 5,5	5	287,6	±5,8	5	287,o	±11,5	5	294,8	±5,3	5
29 a		217,4	± 8,8	5	295,2	±1,5	5	29o,2	± 3,6	5	29o,4	±2,8	5	296,2	± 1,9	5	313,o	±5,8	5
3o a		287,o	± 4,3	5	3o4,2	±7,3	5	3o9,6	± 5,3	5	3o9,6	±5,4	5	3o8,2	± 5,1	5	311,8	±4,9	5
31 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	295,8	± 4,o	5	292,4	±3,5	5	298,o	± 2,o	5	297,4	±3,3	5	297,8	± 3,3	5	296,4	±3,3	5
32 a		298,o	± 2,o	5	299,9	±1,9	5	319,4	± 3,4	5	319,o	±5,3	5	312,8	± 8,1	5	314,2	±8,3	5
33 a		291,o	± 3,9	5	292,o	±1,3	5	293,4	± 2,7	5	292,8	±3,6	5	291,2	± 4,1	5	289,2	±4,6	5
34 a	Wasser-strahl	295,8	± 2,7	5	3o1,2	±2,o	5	3o1,6	± 5,5	5	3oo,2	±1,5	5	299,2	± 2,9	5	3o1,2	±3,1	5
35 a		3o3,4	± 7,2	5	3o1,6	±3,9	5	3o3,4	± 2,7	5	3o3,o	±2,4	5	3o4,2	± 2,6	5	3o4,4	±1,o	5
36 a		295,o	± 7,6	5	3o7,o	±3,3	5	3o4,4	± 4,o	5	311,2	±2,9	5	31o,4	± 2,o	5	3o9,2	±2,7	5

Tabelle 9 a: Imperatorhandstück mit Winkelkopf
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 2o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
28 a	trocken	7o,4	±o,2	3	7o,1	±o,4	3	7o,6	±o,4	3	7o,1	±o,4	3	7o,3	±o,3	3	7o,3	±o,3	3
29 a		73,5	±o,7	3	72,4	±o,8	3	72,6	±o,8	3	72,8	±o,3	3	72,9	±o,3	3	72,8	±o,3	3
3o a		71,o	±o,2	3	7o,4	±o,2	3	7o,9	±o,3	3	7o,6	±o,1	3	7o,2	±o,o	3	7o,3	±o,4	3
31 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	69,2	±o,5	3	7o,2	±o,o	3	69,5	±o,2	3	69,9	±o,4	3	69,9	±o,3	3	69,9	±o,o	3
32 a		69,9	±o,4	3	69,8	±o,2	3	7o,2	±o,2	3	69,8	±o,1	3	7o,3	±o,3	3	7o,o	±o,1	3
33 a		7o,1	±o,2	3	7o,2	±o,o	3	7o,1	±o,1	3	7o,1	±o,4	3	7o,2	±o,o	3	7o,2	±o,3	3
34 a	Wasser-strahl	71,3	±2,2	3	7o,1	±o,5	3	7o,1	±o,3	3	69,8	±o,3	3	7o,1	±o,2	3	7o,6	±o,3	3
35 a		69,8	±1,4	3	69,8	±o,4	3	7o,3	±o,4	3	7o,2	±o,3	3	7o,o	±o,1	3	7o,7	±o,3	3
36 a		68,o	±2,5	3	67,2	±o,6	3	67,o	±o,3	3	66,9	±o,1	3	67,3	±o,2	3	67,6	±o,6	3

Tabelle 1o : Siemens-Sirona-Turbine mit
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 395.ooo U/min.
(alter Winkelkopf bei 32o.ooo U/min.)

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
28 b	trocken	276,8	±5,8	5	281,4	±1,6	5	29o,o	±1,3	5	3o5,2	±1,5	5	3o8,2	±4,7	5	317,4	±3,3	5
29 b		281,4	±8,1	5	286,o	±2,9	5	286,o	±4,4	5	292,8	±9,3	5	3o1,o	±7,5	5	3o1,8	±7,6	5
3o b		281,8	±2,1	5	281,8	±1,8	5	283,4	±1,4	5	29o,6	±2,5	5	293,4	±2,7	5	317,8	±4,1	5
31 b	1 Wasser-strahl	294,4	±2,3	5	295,8	±2,4	5	3o4,2	±4,3	5	3o8,4	±2,4	5	318,4	±1,6	5	318,2	±3,1	5
32 b		286,4	±2,8	5	285,8	±2,6	5	296,8	±3,6	5	297,8	±3,9	5	3o2,2	±5,9	5	3o8,2	±2,o	5
33 b		289,8	±5,5	5	295,2	±2,4	5	297,2	±3,6	5	297,6	±2,1	5	3o7,4	±2,3	5	3o8,4	±5,3	5
34 b	2 Wasser-strahle	287,o	±2,5	5	289,6	±3,6	5	295,4	±3,2	5	299,2	±6,1	5	3o9,6	±2,3	5	3o7,8	±7,3	5
35 b		296,2	±1,9	5	298,2	±1,1	5	298,6	±1,1	5	3oo,6	±2,2	5	3o8,4	±2,1	5	311,2	±2,o	5
36 b		279,8	±5,8	5	28o,o	±5,6	5	286,6	±5,8	5	288,2	±4,6	5	297,2	±1,9	5	3o1,6	±4,7	5

Tabelle 1o a: Siemens-Sirona-Turbine mit
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 395,ooo U/min.
(alter Winkelkopf bei 32o.ooo U/min.)

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
28 b	trocken	65,9	±o,5	3	7o,2	±o,3	3	69,9	±o,3	3	7o,2	±o,2	3	69,9	±o,3	3	69,7	± o,2	3
29 b		69,4	±o,2	3	7o,2	±o,o	3	7o,3	±o,3	3	7o,1	±o,3	3	69,5	±o,3	3	69,8	± o,3	3
3o b		67,4	±o,1	3	69,8	±o,1	3	7o,2	±o,o	3	7o,1	±o,2	3	69,9	±o,4	3	7o,2	± o,2	3
31 b	1 Wasser-strahl	69,5	±o,1	3	69,7	±o,2	3	69,8	±o,4	3	7o,o	±o,3	3	7o,3	±o,4	3	7o,3	± o,1	3
32 b		68,5	±o,5	3	69,8	±o,1	3	69,9	±o,3	3	69,9	±o,o	3	7o,1	±o,1	3	7o,1	± o,1	3
33 b																			
34 b	2 Wasser-strahle	67,1	±o,1	3	7o,1	±o,2	3	69,9	±o,2	3	69,6	±o,3	3	7o,4	±o,2	3	69,5	±o,2	3
35 b		69,8	±1,o	3	7o,1	±o,2	3	69,6	±o,5	3	7o,3	±o,2	3	7o,o	±o,3	3	69,8	±o,3	3
36 b		66,7	±o,4	3	67,o	±o,o	3	66,9	±o,3	3	67,o	±o,5	3	67,3	±o,2	3	67,6	± o,2	3

Tabelle 11: Kerr-Übersetzungshandstück mit

Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querschleifen bei 40.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühlmethode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																		
		0 - 20 µ			20 - 40 µ			40 - 60 µ			60 - 80 µ			80 - 100 µ			100 - 120 µ		
Prap. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
37 a	trocken	290,8	± 1,8	5	288,8	±2,5	5	288,0	±3,9	5	298,4	±1,9	5	293,6	±6,5	5	301,4	±4,8	5
38 a		309,5	±11,2	5	318,0	±4,0	5	318,0	±4,0	5	317,0	±0,0	5	321,0	±4,0	5	317,0	±0,0	5
39 a		305,4	± 4,8	5	310,6	±5,8	5	310,8	±2,0	5	309,8	±2,7	5	318,0	±3,7	5	310,4	±5,7	5
40 a	1/2 Luft + 1/2 Wasserspray	288,4	± 4,8	5	296,6	±3,8	5	296,8	±2,7	5	298,8	±3,1	5	300,6	±3,0	5	299,0	±3,8	5
41 a		296,6	± 6,9	5	300,6	±2,1	5	300,8	±3,6	5	299,8	±2,2	5	299,6	±2,4	5	303,4	±3,7	5
42 a		285,0	± 2,5	5	289,6	±3,8	5	287,6	±4,6	5	294,6	±3,9	5	294,4	±5,6	5	299,2	±2,0	5
43 a	Wasserstrahl	285,4	±2, 4	5	284,6	±4,7	5	286,8	±2,0	5	288,8	±5,1	5	297,8	±1,0	5	299,2	±1,9	5
44 a		293,4	±2, 4	5	299,2	±1,7	5	300,6	±2,9	5	301,2	±1,9	5	301,2	±2,9	5	304,0	±4,1	5
45 a		296,8	± 1,8	5	297,2	±1,9	5	297,4	±5,6	5	304,8	±6,0	5	303,0	±7,8	5	304,0	±3,1	5

Tabelle 11 a: Kerr-Übersetzungshandstück mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 40.000 U/min.

Material: Dentin	Kühlmethode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																		
		50–100 µ			100–200 µ			200–300 µ			300–400 µ			400–500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
37 a	trocken	70,7	±0,4	3	71,3	±1,0	3	73,0	±1,6	3	71,8	±0,3	3	71,3	±0,3	3	71,2	± 0,2	3
38 a		67,0	±0,2	3	67,8	±0,0	3	70,2	±0,3	3	70,3	±0,7	3	70,3	±0,4	3	70,5	± 0,3	3
39 a		66,3	±0,4	3	70,4	±0,1	3	70,6	±0,3	3	70,2	±0,4	3	70,1	±0,5	3	70,2	± 0,0	3
40 a	1/2 Luft + 1/2 Wasserspray	68,7	±0,7	3	69,9	±0,6	3	70,2	±0,4	3	70,0	±0,4	3	70,0	±0,3	3	70,2	± 0,2	3
41 a		69,7	±0,6	3	69,8	±0,3	3	69,7	±0,7	3	70,5	±0,5	3	70,1	±0,5	3	69,9	± 0,4	3
42 a		68,8	±0,3	3	69,7	±0,5	3	70,2	±0,3	3	70,0	±0,1	3	70,2	±0,3	3	70,1	±0,3	3
43 a	Wasserstrahl	69,6	±0,4	3	70,1	±0,3	3	73,2	±0,2	3	70,1	±0,3	3	70,4	±0,3	3	70,1	±0,5	3
44 a		69,8	±0,3	3	70,2	±0,3	3	70,3	±0,3	3	70,2	±0,0	3	70,1	±0,3	3	70,0	±0,3	3
45 a		69,6	±0,4	3	70,5	±0,4	3	70,2	±0,2	3	69,5	±0,3	3	70,1	±0,3	3	70,3	±0,1	3

Tabelle 12 : Kerr-Übersetzungshandstück mit
Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 80.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		90-100 µ			100-200 µ			200-300 µ			300-400 µ			400-500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
37 b	trocken	272,2	±4,4	5	274,0	±5,5	5	272,2	±5,7	5	284,0	±3,3	5	285,2	±3,5	5	286,9	±5,6	5
38 b		298,2	±5,4	5	299,2	±3,1	5	303,6	±4,1	5	309,2	±1,8	5	308,4	±5,8	5	308,4	±3,1	5
39 b		296,0	±8,0	5	301,6	±5,9	5	310,4	±3,2	5	309,2	±3,9	5	311,6	±7,1	5	311,8	±4,9	5
40 b	½ Luft + ½ Wasser-spray	288,4	±4,1	5	292,0	±4,5	5	291,2	±6,1	5	294,2	±2,6	5	295,8	±3,2	5	295,0	±2,4	5
41 b		288,4	±2,4	5	289,2	±2,4	5	292,4	±3,3	5	298,4	±2,0	5	298,8	±1,8	5	301,4	±4,8	5
42 b		297,8	±2,8	5	293,2	±2,8	5	297,8	±3,0	5	296,2	±1,9	5	297,2	±2,6	5	298,8	±2,0	5
43 b	Wasser-strahl	285,2	±5,1	5	284,2	±3,0	5	295,0	±3,4	5	295,2	±3,0	5	293,4	±3,6	5	293,4	±2,9	5
44 b		298,2	±2,4	5	301,8	±1,7	5	303,2	±1,6	5	304,6	±3,5	5	305,4	±4,2	5	306,8	±3,6	5
45 b		297,2	±3,1	5	298,8	±5,3	5	296,8	±3,1	5	298,4	±2,0	5	306,4	±3,9	5	306,9	±2,2	5

Tabelle 12 a : Kerr-Übersetzungshandstück mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 8o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50–100 µ			100–200 µ			200–300 µ			300–400 µ			400–500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
37 b	trocken	66,3	± 1,o	3	68,o	±o,3	3	73,5	± o,3	3	69,9	± o,4	3	7o,3	± o,5	3	7o,6	±o,1	3
38 b		69,6	± o,9	3	68,5	±o,4	3	69,1	± o,2	3	7o,4	± o,3	3	69,8	± o,7	3	7o,7	±o,2	3
39 b		69,7	± o,6	3	7o,3	±o,2	3	7o,4	± o,7	3	7o,1	± o,4	3	7o,1	± o,1	3	7o,3	±o,3	3
4o b	1/2 Luft + 1/2 Wasser-spray	67,9	± o,2	3	69,2	±o,4	3	73,2	± o,3	3	7o,1	± o,1	3	69,9	± o,3	3	69,7	±o,3	3
41 b		7o,3	± o,5	3	7o,1	±o,4	3	71,8	± 2,2	3	71,1	± o,3	3	7o,6	± 1,o	3	7o,4	±o,4	3
42 b		7o,o	± o,5	3	7o,1	±o,5	3	7o,2	± o,o	3	69,8	± o,1	3	7o,4	± o,4	3	7o,8	±o,2	3
43 b	Wasser-strahl	69,7	± o,2	3	7o,3	±o,3	3	7o,1	± o,4	3	7o,1	± o,4	3	7o,1	± o,1	3	69,6	±o,3	3
44 b		72,4	± o,4	3	71,9	±o,3	3	72,5	± o,4	3	72,5	± o,5	3	72,4	± o,4	3	73,1	±o,4	3
45 b		71,1	± o,3	3	73,4	±o,6	3	71,9	± o,2	3	72,8	± o,3	3	72,6	± o,8	3	71,6	±o,7	3

Tabelle 13 : Kerr-Übersetzungshandstück mit
D. & Z. Diamantschleifer Nr. 86 bei 40.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
46 a	trocken	298,4	± 2,0	5	296,8	±1,8	5	297,4	±3,3	5	300,2	±4,5	5	298,8	±2,1	5	300,2	±3,4	5
47 a		291,2	± 4,5	5	295,8	±2,3	5	296,8	±1,8	5	298,4	±2,7	5	299,2	±1,7	5	300,2	±1,5	5
48 a		297,4	± 4,0	5	295,0	±2,0	5	296,0	±1,1	5	296,8	±1,9	5	298,4	±2,1	5	297,2	±3,3	5
49 a	1/2 Luft + 1/2 Wasser-spray	293,8	± 2,0	5	294,8	±1,7	5	295,4	±2,1	5	296,2	±2,8	5	295,8	±7,6	5	297,8	±2,8	5
50 a		295,8	± 1,7	5	295,6	±2,1	5	295,2	±1,4	5	298,2	±2,4	5	297,2	±2,9	5	298,8	±2,0	5
51 a		296,4	± 1,3	5	297,2	±1,9	5	298,7	±7,0	5	298,2	±2,7	5	295,8	±2,6	5	299,2	±1,7	5
52 a	Wasser-strahl	257,6	±15,9	5	260,8	±7,2	5	290,6	±3,8	5	294,2	±1,8	5	295,6	±1,8	5	295,0	±3,4	5
53 a		294,2	± 3,1	5	295,4	±3,2	5	296,2	±2,8	5	295,4	±3,8	5	296,4	±1,3	5	294,8	±3,4	5
54 a		295,0	± 2,7	5	296,0	±3,1	5	295,8	±3,1	5	296,4	±1,6	5	297,2	±3,1	5	296,8	±2,9	5

Tabelle 13 a: Kerr-Übersetzungshandstück mit
D. & Z. Diamantschleifer Nr. 86 bei 4o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
46 a	trocken	71,9	± 1,3	3	71,9	±o,4	3	71,9	± o,4	3	71,9	±o,8	3	71,9	± o,7	3	71,9	±o,4	3
47 a		71,4	± o,3	3	71,7	±o,5	3	7o,8	± o,3	3	71,4	±o,3	3	71,o	± o,6	3	71,4	±o,2	3
48 a		71,6	± o,2	3	71,6	±o,4	3	71,3	± o,3	3	71,5	±o,4	3	71,7	± o,6	3	71,2	±o,5	3
49 a	½ Luft + ½ Wasser-spray	7o,7	± o,2	3	71,7	±o,4	3	7o,8	± o,2	3	71,9	±o,4	3	72,3	± o,5	3	71,6	±o,2	3
5o a		7o,8	± o,5	3	71,6	±o,3	3	72,o	± o,9	3	72,1	±o,6	3	71,9	± o,3	3	71,9	±o,1	3
51 a		7o,6	± o,1	3	7o,9	±o,7	3	71,7	± o,1	3	71,o	±o,7	3	71,2	± o,4	3	71,1	±o,7	3
52 a	Wasser-strahl	71,2	± o,9	3	73,o	±o,6	3	72,8	± o,7	3	7o,8	±o,1	3	7o,5	± o,1	3	7o,7	±o,2	3
53 a		68,8	± o,2	3	7o,o	±o,3	3	69,9	± o,4	3	69,3	±o,9	3	69,4	± o,4	3	68,7	±o,5	3
54 a		7o,4	± o,3	3	69,8	±o,5	3	7o,2	± o,o	3	7o,5	±o,6	3	7o,1	± o,4	3	7o,3	±o,5	3

Tabelle 14 : Kerr-Übersetzungshandstück mit
D. & Z. Diamantschleifer Nr. 86 bei 80.000 U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50 - 100 µ			100 – 200 µ			200 – 300 µ			300 – 400 µ			400 – 500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
46 b	trocken	294,8	±2,9	5	295,8	±1,9	5	296,8	±1,5	5	297,6	±2,1	5	298,2	±2,3	5	299,4	±2,3	5
47 b		294,6	±2,3	5	298,0	±2,0	5	297,0	±3,2	5	299,2	±1,8	5	298,6	±2,6	5	298,2	±2,6	5
48 b		297,8	±1,4	5	297,2	±1,9	5	296,6	±2,3	5	296,6	±2,3	5	297,4	±3,3	5	298,4	±2,1	5
49 b	½ Luft + ½ Wasser-spray	295,4	±2,1	5	294,2	±1,7	5	295,8	±3,6	5	296,8	±1,8	5	297,0	±3,2	5	297,2	±3,7	5
50 b		295,6	±2,1	5	296,2	±2,0	5	296,8	±2,1	5	297,2	±1,9	5	298,8	±3,7	5	299,4	±5,2	5
51 b		294,0	±2,8	5	295,2	±1,4	5	297,8	±2,8	5	296,8	±2,1	5	297,2	±3,0	5	297,2	±2,9	5
52 b	Wasser-strahl	293,4	±2,0	5	293,4	±2,4	5	295,2	±2,1	5	295,6	±2,6	5	295,8	±2,5	5	296,8	±1,8	5
53 b		288,6	±1,6	5	297,4	±1,3	5	296,2	±3,2	5	296,4	±3,2	5	297,2	±1,9	5	296,8	±4,8	5
54 b		295,8	±1,7	5	296,4	±2,2	5	293,6	±5,6	5	294,8	±4,3	5	298,4	±2,0	5	297,8	±3,4	5

Tabelle 14 a: Kerr-Übersetzungshandstück mit
D. & Z. Diamantschleifer Nr. 86 bei 8o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
46 b	trocken	7o,5	±o,6	3	71,1	±o,3	3	71,3	±o,4	3	71,9	±o,7	3	7o,5	±o,4	3	71,o	± o,4	3
47 b		71,6	±o,4	3	72,1	±o,5	3	72,1	±o,3	3	72,8	±o,1	3	71,2	±o,2	3	71,9	±o, 3	3
48 b		7o,6	±o,7	3	71,7	±o,1	3	71,5	±o,4	3	71,7	±o,4	3	7o,4	±o,3	3	7o,1	± o,1	3
49 b	½ Luft + ½ Wasser-spray	7o,7	±o,7	3	7o,5	±o,2	3	71,o	±o,4	3	71,5	±o,6	3	71,2	±o,5	3	71,6	± o,4	3
5o b		7o,8	±o,5	3	71,4	±o,4	3	71,o	±o,4	3	7o,9	±o,1	3	7o,8	±o,3	3	71,3	± o,5	3
51 b		7o,4	±o,9	3	7o,9	±o,3	3	71,7	±1,7	3	7o,1	±o,7	3	7o,2	±o,4	3	71,2	± o,2	3
52 b	Wasser-strahl	69,9	±o,3	3	71,o	±o,4	3	7o,9	±o,5	3	7o,4	±o,4	3	71,7	±o,5	3	71,2	± o,8	3
53 b		69,o	±o,6	3	68,5	±o,4	3	68,5	±o,4	3	69,7	±o,4	3	69,8	±o,3	3	69,4	± 1,2	3
54 b		7o,4	±o,3	3	7o,6	±o,5	3	7o,8	±o,4	3	7o,8	±o,6	3	7o,o	±o,2	3	7o,4	± o,5	3

Tabelle 15: D & Z Übersetzungswinkelstück Rt-15o mit
D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 8o.ooo U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50–100 µ			100–200 µ			200–300 µ			300–400 µ			400–500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
55 a	trocken	292,2	± 5,1	5	288,8	± 6,5	5	291,6	± 3,7	5	291,8	± 2,7	5	293,8	± 2,8	5	296,4	± 3,4	5
56 a		294,8	± 2,9	5	295,2	± 2,7	5	294,8	± 3,8	5	296,8	± 1,8	5	295,6	± 1,8	5	198,8	± 2,1	5
57 a		294,o	± 3,4	5	296,4	± 2,4	5	297,4	± 3,9	5	294,2	± 2,9	5	296,2	± 2,8	5	296,8	± 3,6	5
58 a	3 Spray-Düsen	291,2	± 3,9	5	293,8	± 1,9	5	291,4	± 3,2	5	293,4	± 2,o	5	294,4	± 3,3	5	294,6	± 3,9	5
59 a		291,8	± 8,9	5	294,8	± 2,8	5	294,8	± 2,1	5	294,2	± 3,4	5	293,8	± 3,3	5	295,4	± 2,9	5
6o a		296,8	± 2,3	5	296,4	± 6,1	5	3o3,8	± 2,7	5	3oo,2	± 2,5	5	3o2,8	± 2,7	5	3o2,8	± 3,7	5

Tabelle 15 a: D & Z Übersetzungswinkelstück Rt-15o mit D & Z Diamantschleifer Nr. 86 bei 8o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
55 a	trocken	69,7	± o,4	3	7o,7	± o,4	3	7o,7	±o,5	3	7o,2	± o,o	3	71,o	± o,4	3	69,9	±o,2	3
56 a		7o,4	± o,3	3	7o,2	± o,o	3	7o,5	±o,4	3	69,9	± o,4	3	7o,3	± o,1	3	7o,2	±o,2	3
57 a		69,8	± o,5	3	7o,9	± o,7	3	7o,2	± o,o	3	7o,4	± o,2	3	7o,2	±-o,o	3	7o,2	± o,o	3
58 a	3 Spray-Düsen	72,6	± o,3	3	7o,2	± o,o	3	7o,2	± o,o	3	7o,6	± o,5	3	7o,1	± o,4	3	7o,9	± o,4	3
59 a		72,4	± 1,4	3	7o,8	± o,3	3	7o,4	± o,4	3	7o,2	± o,o	3	72,3	± o,5	3	72,1	± o,1	3
6o a		68,o	± o,4	3	67,3	± o,2	3	67,4	± o,5	3	67,7	± o,2	3	68,7	± o,1	3	68,1	± o,1	3

Tabelle 16: D & Z Übersetzungswinkelstück Rt-15o mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 8o.ooo U/min.

Material: Schmelz	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
55 b	trocken	293,o	± 3,4	5	296,2	± 1,9	5	297,8	± 2,8	5	297,o	±3,9	5	296,8	±2,6	5	296,4	± 5,o	5
56 b		29o,2	± 3,o	5	294,2	± 1,7	5	294,8	± 2,5	5	297,8	±2,4	5	297,8	±2,8	5	297,8	± 2,8	5
57 b		295,8	± 2,5	5	295,2	± 2,5	5	295,8	± 3,9	5	294,6	±1,5	5	296,8	±2,2	5	295,2	± 2,4	5
58 b	3 Spray-Düsen	291,6	± 4,1	5	293,4	± 2,o	5	293,6	± 1,o	5	293,8	±1,7	5	294,o	±3,3	5	296,8	± 3,3	5
59 b		291,o	± 4,4	5	293,4	± 2,o	5	295,o	± 5,1	5	297,4	±2,6	5	294,4	±4,4	9	3oo,4	± 2,9	5
6o b		296,2	± 3,4	5	297,8	± 3,4	5	297,8	± 2,7	5	297,6	±3,3	5	296,o	±3,1	5	298,8	± 3,1	5

Tabelle 16 a: D & Z Übersetzungswinkelstück Rt-15o mit Hartmetall-Fissurenbohrer Gr. 3 mit Querhieben bei 8o.ooo U/min.

Material: Dentin	Kühl-methode	Abstand des Meßbereichs vom Kavitätenrand																	
		50—100 µ			100—200 µ			200—300 µ			300—400 µ			400—500 µ			ab 500 µ		
Präp. Nr.		$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N	$\bar{x}$	s	N
55 b	trocken	7o,o	± 1,1	3	7o,1	± o,4	3	7o,8	± o,3	3	7o,o	± o,6	3	7o,4	± o,3	3	7o,1	± o,3	3
56 b		7o,6	± o,7	3	7o,2	± o,o	3	7o,2	± o,o	3	7o,6	± o,7	3	7o,3	± o,1	3	7o,1	± o,1	3
57 b		7o,6	± o,5	3	7o,o	± o,2	3	69,8	± o,5	3	7o,2	± o,o	3	7o,1	± o,2	3	7o,7	± o,2	3
58 b		72,o	± o,6	3	71,2	± o,8	3	7o,5	± o,4	3	71,9	± o,4	3	7o,7	± o,2	3	7o,6	± o,6	3
59 b		67,o	± o,4	3	67,5	± o,8	3	67,o	± o,4	3	67,8	± o,7	3	67,5	± o,o	3	67,3	± o,2	3
6o b		7o,2	± o,o	3	72,o	± o,2	3	7o,2	± o,o	3	7o,2	± o,o	3	71,1	± o,7	3	71,3	± o,8	3

Literaturverzeichnis

1. Adolph, W. — Die Struktur der Dentinoberfläche nach deren Bearbeitung mit normal- und höchsttourigen Präparationsinstrumenten. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 14:1344, 1959.

2. Adolph, W. — Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit nieder-, hoch- und höchsttourig bearbeiteter Kavitätenwände. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 14:949, 1959.

3. Balle, D. — Mikrohärtemessungen im gesunden und kariösen Milchzahnschmelz. Med. Diss. Tübingen, 1962.

4. Black, A. D. — G. V. Black's Work on Operative Dentistry with which his Special Dental Pathology is Continued. 7. Aufl., Band 2. Chicago 1936.

5. Eichner, K. — Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen. Wissenschaftl. Untersuchungen und klinische Folgerungen, II. Teil Dtsch. zahnärztl. Zschr. 18:113, 1963.

6. Fechner, U. — Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Bohren (Fräsen) Med. Diss. Berlin, 1961.

7. Fezer, K. H. und Schray, K. — Die Kavitätenwände nach der Präparation mit dem Borden-Airotor. Quintess., 10, 1204, 1959.

8. Hess, W. — Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde. Leipzig 1954.

9. Hofmann, M. — Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum beim Beschleifen der Zähne. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 14:472, 1959.

10. Hudson, D. C. and Sweeney, W. T. — Temperatures develop ed in the dental cutting instruments. J. Amer. Dent. Ass. 48:127, 1954.

11. Kimmerle, G. — Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors. Med. Diss. Tübingen, 1962.

12. Klos, H. und Rottke, R. — Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 15:1659, 1960.

13. Kluczka, J. — Möglichkeiten und Grenzen des Bohrens und Schleifens mit höchsten Drehzahlen. Zahnärztl. Praxis 9:25, 1960.

14. Krell, F. — Härteprüfungen am Schmelz und am Dentin von Goldhamsterzähnen und menschlichen Zähnen. Med. Diss. Berlin 1953.

15. Langeland, K. — Pulp reaction to cavity preparation. Oslo University Press, 74, 1957.

16. Linke, S. — Untersuchungen von Kavitätenrändern, die mit Schleifkörpern in verschiedenen Drehzahlbereichen bearbeitet wurden. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 15:33, 1960.

17. Lisanti, V. F. and Zander, H. A. — Thermal injury to normal dog teeth, in vivo measurements of pulp temperature increase and their effect on the pulp tissue. J. Dent. Res. 31:548, 1952.

18. Maeglin, B. — Auswirkungen der Kavitätenpräparation mit höchsten Geschwindigkeiten in histologischen Untersuchungen. Schweiz. Mschr. Zahnhk. 70, 877, 1960.

19. Marsland, E. A., Shovelton, D. S. — The effect of cavity preparation on the human dental pulp. Brit. Dent. J., 102:213, 1957.

20. Miller, W. D. — Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde. Leipzig 1903.

21. Mühlemann, H. R., Rateitschack, K. — Airotorpulpen. Zahnärztl. Rdsch., 68:307, 1959.

22. Nelissen, R. — Brauchbare Schnellverfahren zur Entkalkung von Zähnen und Kieferteilen. Med. Diss. Bonn 1954.

23. Ontrup, D. — Wirkungen rotierender Instrumente auf den Schmelz menschlicher Zähne. Med. Diss. Berlin 1958.

24. Pantke, H. — Die Wirkung verschiedener Instrumente auf die Kavitätenwände. Schweiz. Mschr. Zahnhk. 66:678, 1956.

25. Peyton, F. A. — Temperature rise in teeth developed by rotating instruments. J. Amer. Dent. Ass. 50:629, 1955.

26. Peyton, F. A. — Effectiveness of water coolants with rotary cutting instruments. J. Amer. Dent. Ass., 56:664, 1958.

27. Polman-Mooy, A. — Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Schleifen. Med. Diss. Berlin 1962.

28. Rauber, G. Die Wirkung der Reibungswärme auf das Dentin.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 17:806, 1962.

29. Rebel, H. H. Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.
München 1950.

30. Roulet, F. Methoden der Pathologischen Histologie.
Springer Verlag, Wien 1948.

31. Sachs, W. Handbuch der Zahnheilkunde.
II. Band, Wien und Leipzig 1909.

32. Street, E. V. Effects of Varius Instruments on Enamel Walls.
J. Amer. Dent. Ass., 46:274, 1953.

33. Stüben, J. und Hoppe, W. F. Experimentelle Untersuchungen über die Temperaturveränderungen in der Zahnhartsubstanz beim höchsttourigen Bohren und Schleifen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 17., ZE 1, 1962.

34. Swerdloff, H., Stanley, H. R. Reaction of the human dental pulp to cavity preparation: results produced by eight different operative grinding technics.
J. Amer. Dent. Ass., 58:49, 1959.

35. Vogelsang, H. Die Reaktion der Pulpa auf plötzlichen Schmelzmangel.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 40:97, 1922.

36. Weber, E. Grundriß der biologischen Statistik.
II. Aufl., Jena 1956, Gustav Fischer.

37. Weder, M. Über die Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen und höchsten Umdrehungsgeschwindigkeiten.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 15:104, 1960.

An dieser Stelle möchte ich mich für die Überlassung des Themas und für die Anleitung zur Arbeit bei Herrn Oberarzt Priv.-Doz. Dr. K. Eichner bedanken.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Kohler (Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin) für die Hilfe bei der Durchführung der Härtemessungen und Herrn Prof. Dr. E. Sauerwein und Frau Kremer für die Unterstützung bei der Anfertigung der histologischen Präparate.

L e b e n s l a u f

Am 5. Mai 1937 in Stendal geboren, besuchte ich, Ulrich Stein, vom 6. Lebensjahr ab die Grundschule und später die Winckelmann-Oberschule in Stendal und legte dort im Sommer 1955 die Reifeprüfung ab.

Nach einer Ablehnung zum Studium der Zahnheilkunde an der Humboldt-Universität nahm ich in Berlin-West an einem Lehrgang für Ostabiturienten teil und bestand im Sommer 1956 die Ergänzungsprüfung zum Ostabitur.

Zum Studium der Zahnmedizin und Medizin wurde ich am 11. Oktober 1956 an der Freien Universität Berlin immatrikuliert.

Im Sommersemester 1959 legte ich die medizinische und zahnmedizinische Vorprüfung ab. Die zahnärztliche Prüfung bestand ich im August 1962 vor dem Prüfungsausschuß Berlin.

Photodruck der Photo Copie GmbH.